

Eddy current sensor which is capable of miniaturizationPatent Number: ☐ US6462536

Publication date: 2002-10-08

Inventor(s): WISSPEINTNER KARL (DE); MEDNIKOV FELIX (RU)

Applicant(s): MICRO EPSILON MESSTECHNIK (DE)

Requested Patent: ☐ WO9859216

Application

Number: US19990446034 19991215

Priority Number(s): DE19971026348 19970621; DE19971052497 19971127; WO1998DE01709 19980622

IPC Classification: G01B7/14; G01D5/20

EC Classification: G01D5/20B2

Equivalents: ☐ DE19752497, ☐ EP0990123 (WO9859216), A1, B1, JP2000514198T, JP3338455B2**Abstract**

Eddy current sensor with an exploring coil (2) wound on a coil form (32), with two terminals (6, 7), a source of ac voltage, an electrically conductive measuring probe (3), and an evaluation circuit, wherein the measuring probe (3) is displaceable relative to the exploring coil (2), and the evaluation circuit generates an evaluation signal as a function of the position of the measuring probe (3), wherein the eddy current sensor comprises an electrode (4) with a tap (8) for enabling electrical contact, the electrode forming together with the windings of the exploring coil (2) and an intermediate layer (33) a component with distributed electromagnetic parameters, whose output signals are used to determine the position of the measuring probe (3)

Data supplied from the esp@cenet database - I2

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01D 5/20		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/59216
		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:	30. Dezember 1998 (30.12.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01709		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 22. Juni 1998 (22.06.98)		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(30) Prioritätsdaten:			
197 26 348.8 21. Juni 1997 (21.06.97) DE 197 52 497.4 27. November 1997 (27.11.97) DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): MI-CRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG [DE/DE]; Königsbacher Strasse 15, D-94496 Ortenburg (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MEDNIKOV, Felix [RU/RU]; ul. Klinitscheskaja, 14-139, Samara, 443096 (RU). WISSEINTNER, Karl [-/DE]; Griesbacherstrasse 23, D-94496 Ortenburg (DE). (74) Anwalt: ULLRICH & NAUMANN; Luisenstrasse 14, D-69115 Heidelberg (DE).			

(54) Title: EDDY CURRENT SENSOR

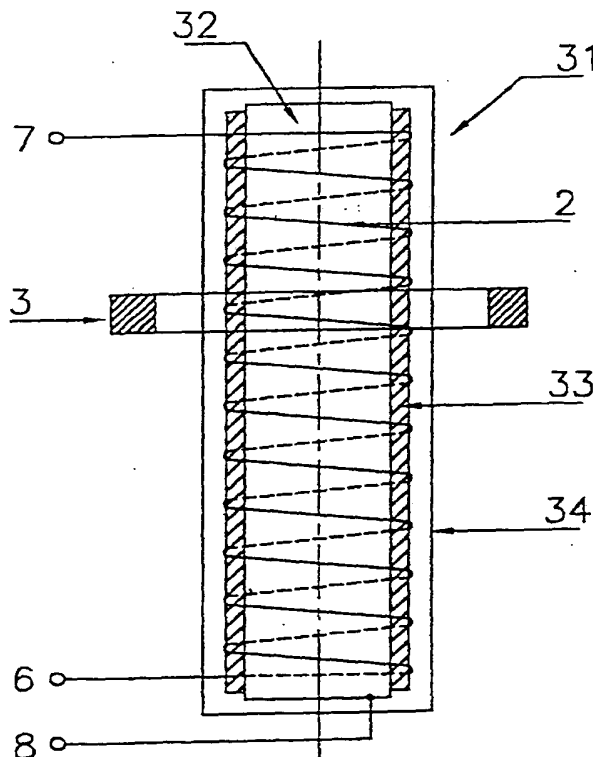
(54) Bezeichnung: WIRBELSTROMSENSOR

(57) Abstract

The invention relates to an eddy current sensor, comprising an exploring coil (2) with two terminals (6, 7) that is wound around a coil body (32), an alternating current source, an electrically conductive measuring probe (3) and an evaluation circuit, wherein the measuring probe (3) can be displaced in relation to the exploring coil (2) and the evaluation circuit generates an evaluation signal depending on the position of the measuring probe (3). The eddy current sensor (1) has an electrode (4) with a tap (8) enabling electrical contact. Said electrode, the windings of the exploring coil (2) and the intermediate layer form a component with distributed electromagnetic parameters. The output signals of said component are used to determine the position of the measuring probe (3).

(57) Zusammenfassung

Wirbelstromsensor mit einer auf einen Spulenkörper (32) gewickelten Meßspule (2) mit zwei Anschlüssen (6, 7), einer Wechselspannungsquelle, einer elektrisch leitenden Meßsonde (3) und einer Auswerteschaltung, wobei die Meßsonde (3) gegenüber der Meßspule (2) verschiebbar ist und die Auswerteschaltung ein Auswertesignal in Abhängigkeit von der Position der Meßsonde (3) erzeugt, wobei der Wirbelstromsensor (1) eine Elektrode (4) mit einem Abgriff (8) zur elektrischen Kontaktierung aufweist, die zusammen mit den Windungen der Meßspule (2) und der Zwischenschicht (33) ein Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern bildet, aus dessen Ausgangssignalen die Position der Meßsonde (3) bestimmbar ist.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

"Wirbelstromsensor"

Die Erfindung betrifft einen Wirbelstromsensor mit einer auf einen Spulenkörper gewickelten Meßspule mit zwei Anschlüssen, einer Wechselspannungsquelle, einer elektrisch leitenden Meßsonde und einer Auswerteschaltung, wobei die Meßsonde gegenüber der Meßspule verschiebbar ist und die Auswerteschaltung ein Auswertesignal in Abhängigkeit von der Position der Meßsonde erzeugt.

Ein derartiger Wirbelstromsensor ist aus der DE 42 25 968 A1 bekannt. Zur Auswertung der Position der Meßsonde sind dabei mehrere Spannungsabgriffe vorgesehen. Die unterschiedlichen an den Spannungsabgriffen anliegenden Potentiale werden einer Auswerteschaltung zugeführt. Die jeweils zwischen zwei Spannungsabgriffen angeordnete Meßsonde beeinflusst die Teilimpedanz des entsprechenden Spulenabschnitts und damit das Potential an den Spannungsabgriffen. Mit Hilfe der Auswerteschaltung läßt sich daher die Position des Meßobjekts bezüglich der Spannungsabgriffe bestimmen. Dabei besteht der Nachteil, daß das Verhältnis zwischen dem Meßbereich und der Länge des Sensors von der Anzahl der Spannungsabgriffe abhängt. Um einen möglichst großen Meßbereich bezüglich der Positionsbestimmung der Meßsonde zu erhalten, ist eine hohe Anzahl von Spannungsabgriffen der Meßspule erforderlich, was die Komplexität des Meßsensors erhöht. Gleichzeitig muß auch die Länge der Meßsonde angepaßt sein, welche vom Abstand der Spannungsabgriffe abhängig ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Wirbelstromsensor der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß bei einfachem Aufbau des Wirbelstromsensors ein möglichst großes Verhältnis zwischen Meßbereich und Länge des Sensors bezüglich der Messung der Position der Meßsonde erzielbar ist.

Eine andere Aufgabe der Erfindung ist, daß der Sensor eine gute Temperaturstabilität aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Danach weist der Wirbelstromsensor eine Elektrode mit einem Abgriff zur elektrischen Kontaktierung auf, die zusammen mit den Wicklungen der Meßspule und einer

Zwischenschicht ein Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern bildet, aus dessen Ausgangssignalen die Position der Meßsonde bestimmbar ist.

Erfindungsgemäß hat der Wirbelstromsensor dadurch sowohl induktive, als auch Widerstands- und kapazitive Bestandteile, wobei die Meßsonde nur den Teil der Meßspule beeinflusst, den sie überdeckt, aber die Impedanz der Meßspule insgesamt unabhängig von der Position der Meßsonde ist. Dabei kann die Ausdehnung der Meßsonde parallel zur Spulenachse sehr klein, theoretisch unendlich klein, sein.

Dadurch ist es möglich, einen hochauflösenden Wirbelstromsensor mit großem Verhältnis, bis zu 90%, zwischen dem Meßbereich und der Länge des Sensors, mit lediglich zwei Anschlüssen an der Meßspule und einem weiteren Abgriff der Elektrode bereitzustellen. Die zwei Anschlüsse sind dabei insbesondere mittelbar, d.h. über eine Beschaltung, oder unmittelbar mit den Klemmen einer Wechselspannungsquelle verbunden.

Durch den einfachen Aufbau des Wirbelstromsensors läßt sich dieser preisgünstig produzieren und hat lediglich drei Anschlüsse zur Kontaktierung der Spannungsversorgung bzw. der Auswerteschaltung. Infolgedessen kann der Wirbelstromsensor auch noch kompakter aufgebaut sein, da die Breite der Meßsonde sehr klein sein und die Meßspule eine geringere Länge in Achsenrichtung aufweisen kann. Darüber hinaus beeinflussen die Abmessungen der Meßsonde das Meßergebnis in geringerem Maße als bei der Lösung mit den Spannungsabgriffen. Dadurch ist der erfindungsgemäße Wirbelstromsensor besonders auch für die Miniaturisierung geeignet.

Bevorzugt ist die Zwischenschicht als Elektrode, als Leiterbahn oder -platte ausgebildet und parallel zur Achse der Meßspule angeordnet. Durch die parallele Anordnung entsteht eine Impedanz mit induktiven, kapazitiven und ohmschen Widerstandsbestandteilen, wobei der kapazitive Bestandteil zwischen der Zwischenschicht und den Wicklungen der Meßspule gebildet ist. Im Zusammenhang mit einer achsparallelen Verschiebung der Meßsonde wird das Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern auch in parallel zur Achse der Meßspule angeordneten Bereichen beeinflusst, was zu Ausgangssignalen führt, die sich zur einfachen Auswertung durch eine Auswerteschaltung heranziehen lassen.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist der gesamte Spulenkörper als Elektrode ausgebildet und besteht aus einem Material mit geringem elektrischen Widerstand, insbesondere einem ferromagnetischen Material. Dadurch ist einerseits der Spulenkörper in einfacher Form aus einheitlichem Material herstellbar und die Elektrode hat vorteilhaft eine besonders große Fläche. Der Spulenkörper kann als rohrartiges Bauteil ausgebildet sein.

Zwischen den Wicklungen der Meßspule und dem Spulenkörper wird eine Zwischenschicht angebracht. Diese Zwischenschicht kann auf der Oberfläche des Spulenkörpers aufgebracht sein. Durch die Materialeigenschaften und Geometrie der Zwischenschicht (elektrische Leitfähigkeit " σ ", Dielektrizitätszahl " ϵ ", Dicke) ist der Übergangswiderstand zwischen Wicklungen der Meßspule und Elektrode veränderbar.

Dabei kann die Meßspule aus isolierten oder blanken Drähten gewickelt sein. Werden blanke Drähte verwendet, müssen die Windungen in einem bestimmten Abstand zueinander gewickelt werden.

Bei einer anderen Weiterbildung der Erfindung dient die Isolationsschicht des Wicklungsdrahtes als die Zwischenschicht zwischen dem Spulenkörper und der Elektrode. In diesem Fall dominiert der kapazitive Bestandteil des Wirbelstromsensors, weil der ohmsche Widerstand der Zwischenschicht sehr groß ist.

Ist dagegen der ohmsche Anteil R kleiner als der kapazitive Anteil C der Zwischenschicht und dabei wesentlich größer als die Impedanz der Meßspule \dot{Z}_1 , pro Längeneinheit, so ist das Ausgangssignal im wesentlichen vom ohmschen Anteil R abhängig.

Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Spulenkörper ein Isolator und ein um die Meßspule angeordnetes Gehäuse bildet die Elektrode. Dabei kann das Gehäuse aus einem leitenden, nicht ferromagnetischen Material, insbesondere einem rostfreien Stahl, hergestellt sein. Besonders im Zusammenhang mit einer innerhalb des Spulenkörpers geführten Meßsonde läßt sich dadurch ein kompakter und gekapselter Wirbelstromsensor herstellen. Die Zwischenschicht kann einen komplexen Übergangswiderstand zwischen den Wicklungen der Meßspule und

der Elektrode mit einem negativen oder positiven Temperaturkoeffizienten aufweisen. Dadurch läßt sich der Temperatureinfluß auf das Ausgangssignal des Wirbelstromsensors kompensieren.

Bevorzugt ist der elektrische Widerstandswert der Elektrode pro Längeneinheit viel größer als der Widerstandswert der Meßsonde pro Längeneinheit. Dadurch lassen sich Wirbelstromeffekte in der Elektrode und Meßsonde gezielt beeinflussen.

Die Meßsonde ist als ein um die Meßspule angeordneter, elektrisch leitender Ring ausgebildet und ist kontaktlos auf der Außenoberfläche der Meßspule entlang der Achse der Meßspule verschiebbar. Die Meßsonde kann jedoch auch innerhalb des Spulenkörpers in einem parallel zur Spulenachse angeordneten Kanal verschiebbar angeordnet sein. Dadurch liegt die Meßsonde innerhalb der Meßspule geschützt und kann sehr klein ausgeführt sein. Die Meßsonde kann dabei auch Bestandteil eines Meßobjekts sein oder das Meßobjekt selbst bilden. Im letztgenannten Fall können bspw. innerhalb eines rohrartigen Spulenkörpers angeordnete Partikel als Meßsonde ausgeführt sein.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Elektrode, die Zwischenschicht und der Spulenkörper mit jeweils ihren Längsachsen parallel zur Achse der Meßspule ausgerichtet und/oder die Auslenkung der Meßsonde erfolgt parallel zur Achse der Meßspule. Dadurch entsteht eine einfache lineare Anordnung, die leicht auszuwertende Ausgangssignale für eine Auswerteschaltung erzeugt.

Bei einer anderen bevorzugten Weiterbildung der Erfindung bildet der Spulenkörper, ggf. mit der Elektrode, einen geschlossenen Ring und die Meßsonde ist entlang des Rings verschiebbar gelagert. Dabei kann die Meßsonde wiederum einen um den Spulenkörper und die Meßspule angeordneten Ring bilden oder innerhalb des Spulenkörpers in einem Kanal gelagert sein. Diese Ausführungsform eignet sich besonders zur Erfassung von Winkeländerungen, die ein mit der Meßsonde verbundenes Meßobjekt ausführt.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind beide Anschlüsse der Meßspule mit einer Wechselspannungsquelle verbunden und die Auswerteschaltung weist einen Operationsverstärker auf, dessen Eingang mit dem Abgriff der Elektrode

verbunden ist. Erfindungsgemäß kann der invertierende Eingang des Operationsverstärkers mit dem Abgriff der Elektrode verbunden sein. Die Auswerteschaltung erfaßt aufgrund der Ausgangssignaländerung am Wirbelstromsensor, d.h. der Spannungsänderung, die Position bzw. die Positionsänderung der Meßsonde gegenüber der Meßspule.

Bei einer anderen Weiterbildung der Erfindung ist zwischen dem Abgriff der Elektrode und dem Anschluß der Meßspule eine Wechselspannung angelegt und der zweite Anschluß der Meßspule ist mit einem Eingang eines Operationsverstärkers der Auswerteschaltung verbunden. Bevorzugt ist der Anschluß der Meßspule mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers verbunden. Auch diese Auswerteschaltung ist durch Widerstände und Kondensatoren derart beschaltet, daß ein Vergleichen oder Addieren von Ausgangsspannungen ermöglicht wird.

Bei einer anderen Weiterbildung der Erfindung weist die Meßspule einen weiteren Anschluß, insbesondere als Mittelabgriff der Meßspule auf. Der Mittelabgriff ist über einen Tiefpaß mit einem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers verbunden. Das Ausgangssignal kann zur Kompensation des Temperaturgradienteneinflusses der Impedanz des Wirbelstromsensors verwendet werden.

Schließlich kann der Abgriff der Elektrode noch mit der Masse verbunden sein. Die beiden Anschlüsse der Meßspule sind dann bspw. mit einer Wechselspannungsquelle und mit dem Eingang eines Operationsverstärkers verbunden.

Sämtliche Komponenten des Sensors können auf einem Chip, bspw. als magnetoresistive oder fotoresistive Struktur, miniaturisiert sein.

Weitere Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung. Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Es zeigen, jeweils in schematischer Darstellung,

Fig. 1 eine vereinfachte Darstellung des erfindungsgemäßen Wirbelstromsensors nach einem ersten Ausführungsbeispiel,

- Fig. 2a ein Ersatzschaltbild des Wirbelstromsensors nach Fig. 1,
- Fig. 2b ein Funktionsschaubild, in dem die Veränderung der Meßspannung U in Abhängigkeit von der Auslenkung der Meßspule gezeigt ist,
- Fig. 3 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor nach einem zweiten Ausführungsbeispiel,
- Fig. 4 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor nach einem dritten Ausführungsbeispiel,
- Fig. 5 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor nach einem vierten Ausführungsbeispiel,
- Fig. 6 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor zur Erfassung von Wegänderungen gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel,
- Fig. 7a einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer ersten Auswerteschaltung,
- Fig. 7b einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer zweiten Auswerteschaltung,
- Fig. 7c einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer dritten Auswerteschaltung,
- Fig. 7d einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer vierten Auswerteschaltung, und
- Fig. 8 einen zur Miniaturisierung geeigneten magnetorestitiven Wirbelstromsensor.

In Fig. 1 ist der erfindungsgemäße Wirbelstromsensor 1 mit einer Meßspule 2 und einer ringförmigen Meßsonde 3 dargestellt. Der Wirbelstromsensor 1 weist eine par-

allel zur Achse der Meßspule 2 angeordnete Elektrode 4 und eine zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4 angeordnete Zwischenschicht 5 auf. Die Zwischenschicht 5 besteht aus einem Isoliermaterial das parallel zur Achse der Meßspule 2 angeordnet ist und ein Material mit elektromagnetischen und elektrisch verteilten Parametern aufweist. Die Meßspule 2 weist zwei Anschlüsse 6 und 7 zur elektrischen Kontaktierung auf. Ebenso weist die als Leiterbahn ausgeführte Elektrode 4 einen Abgriff 8 auf, um daran insbesondere eine Auswerteschaltung zur Erfassung der Position der Meßsonde 3 anzuschließen. Die Meßspule 2 ist bevorzugt als einlagige Spule ausgeführt und der Wirbelstromsensor 1 kann in der Art von Halbleitertransistoren eine homogene dreipolige Struktur bilden.

Fig. 2a zeigt das elektrische Ersatzschaltbild des Wirbelstromsensors 1 mit der homogenen Struktur der Länge l . Dabei läßt sich der induktive, kapazitive und Widerstands-Anteil des Wirbelstromsensors 1 bei einer homogenen Struktur der Länge l durch eine komplexe Impedanz \dot{Z}_l und durch eine zum ohmschen Widerstand R parallel geschaltete Kapazität C darstellen.

Dabei ist \dot{Z}_l jeweils die Impedanz der Meßspule 2 pro Längeneinheit, R der Widerstand der Zwischenschicht 5, d.h. der ohmsche Übergangswiderstand zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4 pro Längeneinheit sowie C die Kapazität zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4 pro Längeneinheit.

Dabei ist jeweils der Widerstand der Elektrode 4 vernachlässigt, der Widerstand R ist viel größer als die Impedanz \dot{Z}_l der Meßspule 2 pro Längeneinheit und der Wert $1/j\omega C$ des kapazitiven Anteils pro Längeneinheit ist viel größer als die Impedanz \dot{Z}_l der Meßspule 2 pro Längeneinheit.

Wenn das Gesamtpotential \dot{U}_m zwischen den Punkten 6 und 7 anliegt, ändert sich unter diesen Bedingungen das Potential \dot{U}_l entlang der Meßspule 2 praktisch linear. Dieser Zusammenhang ist in Fig. 2b gezeigt. Da, wie in Fig. 2a dargestellt, der ohmsche zum kapazitiven Anteil einer homogenen Struktur parallel geschaltet ist, dominiert in Abhängigkeit der Materialeigenschaften der Zwischenschicht 5 (elektrische Leitfähigkeit σ , Dielektrizitätszahl ϵ , Abstand zwischen den Windungen der Meßspule 2 und der Elektrode 4) und der Frequenz entweder der ohmsche oder der ka-

pazitive Anteil der Übergangsimpedanz zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4.

Dabei kann die Meßspule 2 aus isolierten oder blanken Drähten gewickelt sein. Werden blanke Drähte verwendet, müssen die Windungen in einem bestimmten Abstand gewickelt werden.

Fig. 3 zeigt die einfachste Ausführungsform der Erfindung, wobei der Wirbelstromsensor 31 einen zylinderförmig ausgebildeten Spulenkörper 32 mit der einlagig darauf gewickelten Meßspule 2 aufweist. Zwischen der äußeren Oberfläche des Spulenkörpers 32 und den Wicklungen der Meßspule 2 ist eine Zwischenschicht 33 auf die Oberfläche des Spulenkörpers 32 aufgebracht. Der Spulenkörper 32 ist aus einem Material mit geringem elektrischen Widerstand hergestellt, z.B. einem ferromagnetischen Stahl. Die Meßspule 2, der Spulenkörper 32 und die Zwischenschicht 33 sind in einem Gehäuse 34 angeordnet. Die Meßsonde 3 ist parallel zur Achse der Meßspule 2 verschiebbar und gegenüber den Wicklungen der Meßspule 2 isoliert. Der Spulenkörper 32, der als Elektrode wirkt, weist einen Abgriff 8 auf. Die Meßsonde 3 besteht aus einem elektrisch leitenden Material und ist ringförmig ausgebildet, so daß Wirbelströme darin erzeugbar sind. Das Gehäuse 34 kann aus Kunststoff oder aus nicht ferromagnetischem Stahl hergestellt sein.

Der in Fig. 4 dargestellte Wirbelstromsensor 41 weist einen aus nicht ferromagnetischem, rostfreiem Stahl hergestellten Spulenkörper 42 auf, der in Form eines Rohres ausgebildet ist und innen einen zylinderförmigen Kanal 43 aufweist. In dem Kanal 43 ist eine Meßsonde 44 in Form eines ferromagnetischen Kerns axial verschiebbar angeordnet. Auf dem Spulenkörper 42 an der äußeren Oberfläche ist wiederum die Zwischenschicht 33 aufgebracht, um die Meßspule 2 gegenüber dem Spulenkörper 42 zu isolieren.

Der in Fig. 5 dargestellte Wirbelstromsensor 51 weist einen nicht leitenden Spulenkörper 52, insbesondere aus Kunststoff, mit einer auf dessen äußeren Oberfläche aufgewickelten einlagigen Meßspule 2 auf, die gegenüber einem äußeren zylinderförmigen Gehäuse 53 durch eine Zwischenschicht 54 getrennt ist. Das Gehäuse 53 kann aus leitendem, nicht ferromagnetischem Material hergestellt sein und von einer ersten leitenden Meßsonde 3 ringförmig umschlossen sein. Alternativ oder zusätzlich

kann eine andere Meßsonde 44 in einem Kanal 43 im Spulenkörper 52 angeordnet sein. Das Gehäuse 53 ist bei dieser Ausführungsform als Elektrode ausgebildet.

In Fig. 6 ist der Wirbelstromsensor 61 zur Erfassung von Winkeländerungen der Meßsonde 62 vorgesehen. Die Meßsonde 62 ist an einer Lagerung 63 um einen Winkel verdrehbar gelagert. Eine Meßspule 64 ist einlagig auf einen Spulenkörper 64 aus Stahl gewickelt und durch eine Zwischenschicht 65 getrennt. Der Spulenkörper 64 ist als Elektrode ausgebildet und mit dem Abgriff 8 verbunden. Der Wirbelstromsensor 61 weist ein Gehäuse 66 auf, um das die ringförmige Meßsonde 62 geführt ist. Das Gehäuse 65 besteht aus einem Isolationsmaterial.

In Fig. 7a ist ein Wirbelstromsensor 71, der eine Zwischenschicht 72 und eine axial verschiebbare Meßsonde 73 aufweist, mit einer Auswerteschaltung 74 versehen, um die Position der Meßsonde 73 zu erfassen. Die Auswerteschaltung 74 weist einen Operationsverstärker 75 auf, der über seinen invertierenden Eingang 76 mit dem Abgriff 8 der Elektrode 77 verbunden ist. Die Übergangsimpedanz der Zwischenschicht 72 ist größer als die induktive Impedanz der Spule 2. Dadurch ändert sich die Spannung entlang der Meßspule 2 zwischen den Anschlüssen 6 und 7 linear. Dazu ist erforderlich, daß an den Anschlüssen 6 und 7 der Meßspule 2 eine Wechselspannungsquelle 70 angeschlossen ist. Die linear veränderliche induzierte Spannung wird über einen Addierer der Auswerteschaltung, die aus dem Operationsverstärker 75, einem Kondensator 78 und einem Widerstand 79 besteht, zu einer Ausgangsspannung U_{out} aufsummiert. In der Auswerteschaltung 74 wird die Addition der Spannungswerte U_e mit einem summierenden Operationsverstärker 75 durchgeführt. Das Potential des invertierenden Eingangs 76 des Operationsverstärkers 75 ist Null, das bedeutet, daß die Spannungswerte U_i unabhängig von einander addiert werden können.

Wenn die Meßspule 2 mit zwei zueinander komplementären Spannungen gespeist wird, d.h. symmetrisch zum Referenzpotential U_{ref} ist, und die Meßsonde 73 sich in der Mitte der Meßspule 2 befindet, ist $U_{out} = 0$. Wenn die Meßsonde 73 aus der Mitte ausgelenkt wird, ändert sich die Ausgangsspannung U_{out} proportional und die Phase ändert sich um 180° .

Der Einfluß der Temperatur auf die Stabilität der Ausgangsspannung U_{out} kann eliminiert werden, wenn die Zwischenschicht aus einem Isolationsmaterial gefertigt wird ($R \gg j\omega C$) und die Dielektrizitätszahl ϵ des Isolationsmaterials einen negativen Temperaturkoeffizienten aufweist, wenn die Meßspule 2 einen positiven Temperaturkoeffizienten besitzt.

In der Fig. 7b ist der Wirbelstromsensor 71 mit anderer Beschaltung durch eine Wechselspannungsquelle 70 und die Auswerteschaltung 74 dargestellt. Dabei liegt die Meßspule 2 mit ihrer Ausgangsklemme 7 auf Masse und ist mit ihrem Anschluß 6 mit der Auswerteschaltung 74 verbunden. Der Operationsverstärker 75 ist mit seinem nicht invertierenden Eingang auf Masse gelegt und erzeugt an seinem Ausgang das Auswertesignal U_{out} . Der Abgriff 8 der Elektrode 77 ist mit der Wechselspannungsquelle 70 verbunden. Die Zwischenschicht 72 ist aus einem Isolationsmaterial hergestellt ($R \gg j\omega C$). In diesem Fall kann die Dielektrizitätszahl ϵ des Isolationsmaterials einen positiven Temperaturkoeffizienten aufweisen, damit der Temperatureinfluß auf das Auswertesignal U_{out} kompensiert wird.

In Fig. 7c ist eine weitere Beschaltung des Wirbelstromsensors 71 dargestellt. Dabei ist die Meßspule 2 mit ihrem Anschluß 7 an die Wechselspannungsquelle 70 angeschlossen und mit ihrem Anschluß 6 mit der Auswerteschaltung 74 verbunden. Der Abgriff 8 der Elektrode 77 und der nicht invertierende Ausgang des Operationsverstärkers 75 liegen auf Masse. Das Auswertesignal U_{out} gibt wiederum Aufschluß über die Position der Meßsonde 73. In beiden letztgenannten Beschaltungen des Wirbelstromsensors 71 ist bei bestimmten Frequenzen eine Stromresonanz erzielbar. Dadurch ist eine maximale Empfindlichkeit, d.h. eine maximale Auflösung des Auswertesignals U_{out} möglich.

Der Wirbelstromsensor 71 in Fig. 7d ist mit seinen Anschlüssen 6 und 7 mit der Wechselspannungsquelle 70 und zusätzlich mit einer Gleichspannungsquelle 80 verbunden. Die Gleichspannungsquelle kann dabei beliebig gepolt und ein- und ausschaltbar sein. Dadurch überlagert sich die Wechselspannung der Wechselspannungsquelle 70 mit einer Gleichspannung. Die Gleichspannungsquelle 80 kann aber auch ein- und ausschaltbar sein, so daß ein gepulster Strom entsteht. Die Elektrode 77 ist über ihren Abgriff 8 mit der schon beschriebenen Auswerteschaltung 74 verbunden, wobei der nicht invertierende Ausgang des Operationsverstärkers 75 auf

Referenzpotential liegt. Die Auswertespannung U_{out} ist durch den Operationsverstärker 75 am Ausgang erzeugbar. Die Spule 2 weist einen Mittelabgriff 81 auf, mit dem sie über einen Tiefpaß 82, der zumindest einen Widerstand 83 und einen Kondensator 84 aufweist, am Operationsverstärker 85 der Auswerteschaltung 86 angeschlossen ist. Der Operationsverstärker 85 ist über einen weiteren Widerstand 87 beschaltet. Das Auswertesignal U_{out} des Operationsverstärkers 85 (Konstantspannung) ist zum Temperaturgradienten proportional und unabhängig von der Position der Meßsonde 73. Das Ausgangssignal U_{out} des Operationsverstärkers 85 kann von dem Auswertesignal U_{out} des Operationsverstärkers 75, das der Positionsänderung der Meßsonde 73 proportional ist, subtrahiert werden. Vor der Subtraktion kann das Auswertesignal U_{out} mit einem entsprechenden Übertragungsfaktor multipliziert sein. Auf diese Weise lassen sich Temperaturgradieneinflüsse besonders einfach und effektiv kompensieren.

Fig. 8 zeigt einen zur Miniaturisierung geeigneten magnetoresistiven Wirbelstromsensor. Der Wirbelstromsensor 91 weist eine Zwischenschicht 92 und eine Elektrode 93 auf. Die Elektrode 93 ist über den Abgriff 8 in schon beschriebener Weise mit der Auswerteschaltung 75 verbunden, die das Auswertesignal U_{out} erzeugt. Als Alternative kann statt der magnetoresistiven auch eine fotoresistive Struktur zur Herstellung des Wirbelstromsensors 91 vorgesehen sein. Auf diese Weise läßt sich der Wirbelstromsensor 91 in stark verkleinerter Form auf einem Chip unterbringen, so daß lediglich ein geringer Raumbedarf für den Wirbelstromsensor 91 erforderlich ist.

Patentansprüche

1. Wirbelstromsensor mit einer auf einen Spulenkörper (32; 42; 52; 64) gewickelten Meßspule (2) mit zwei Anschlüssen (6, 7), einer Wechselspannungsquelle (70), einer elektrisch leitenden Meßsonde (3; 44; 62; 73) und einer Auswerteschaltung (74), wobei die Meßsonde (3; 44; 62; 73) gegenüber der Meßspule (2) verschiebbar ist und die Auswerteschaltung (74) ein Auswertesignal (U_{out}) in Abhängigkeit von der Position der Meßsonde (3; 44; 62; 73) erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß der Wirbelstromsensor (1; 31; 41; 51; 61; 71; 91) eine Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) mit einem Abgriff (8) zur elektrischen Kontaktierung aufweist, die zusammen mit den Wicklungen der Meßspule (2) und einer Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) ein Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern bildet, aus dessen Ausgangssignalen die Position der Meßsonde (3; 44; 62; 73) bestimmbar ist.
2. Wirbelstromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) als Leiterbahn oder -platte ausgebildet und parallel zur Achse der Meßspule (2) angeordnet ist.
3. Wirbelstromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der gesamte Spulenkörper (32; 42; 64; 77) als Elektrode ausgebildet ist und aus einem Material mit geringem elektrischen Widerstand, insbesondere einem ferromagnetischen Material, besteht.
4. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) die Wicklungen der Meßspule (2) gegenüber der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) elektrisch isoliert.
5. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) aus einem Material mit hohem elektrischen Widerstand hergestellt ist.

6. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) eine Isolationsschicht des Wickeldrahtes der Meßspule (2) ist.

7. Wirbelstromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenkörper (52) einen Isolator und ein um die Meßspule (2) angeordnetes Gehäuse (53) der Elektrode bildet.
8. Wirbelstromsensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (53) aus einem leitenden, nicht ferromagnetischen Material, insbesondere einem rostfreien Stahl, hergestellt ist.
9. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Widerstand der Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) einen negativen oder positiven Temperaturkoeffizient aufweist.
10. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Widerstandswert der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) pro Längeneinheit viel kleiner als die Impedanz der Meßspule (2) pro Längeneinheit ist.
11. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (3; 62; 73) als um die Meßspule (2) angeordneter elektrisch leitender Ring ausgebildet ist.
12. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (44) innerhalb des Spulenkörpers (42; 52) in einem parallel zur Spulenachse angeordneten Kanal (43) verschiebbar angeordnet ist.
13. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93), die Zwischenschicht (5; 33; 52; 65; 72; 92) und der Spulenkörper (32; 42; 54; 64; 77) mit jeweils ihren Längsachsen parallel zur Achse der Meßspule (2) ausgerichtet sind und/oder die Auslenkung der Meßsonde (3; 44; 62; 73) parallel zur Achse der Meßspule (2) erfolgt.

14. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenkörper (64) einen geschlossenen Ring oder ein Rohr bildet und die Meßsonde (62) zur Erfassung von Winkeländerungen entlang des Rings bzw. Rohres verschiebbar gelagert ist.
15. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beide Anschlüsse (6, 7) der Meßspule (2) mit einer Wechselspannungsquelle (70) verbunden sind und die Auswerteschaltung (74) einen Operationsverstärker (75) aufweist, dessen invertierender Eingang (76) mit dem Abgriff (8) der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) verbunden ist.
16. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Abgriff (8) der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) und einem Anschluß (7) der Meßspule (2) eine Wechselspannung anliegt und der zweite Anschluß (6) der Meßspule (2) mit einem invertierenden Eingang (76) eines Operationsverstärkers (75) der Auswerteschaltung (74) verbunden ist.
17. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßspule (2) einen weiteren Anschluß, insbesondere als Mittelabgriff (81) der Meßspule (2), aufweist, der über einen Tiefpaß (82) mit einem invertierenden Eingang (76) eines Operationsverstärkers (75) verbunden ist.
18. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abgriff (8) der Elektrode (77) mit der Masse verbunden ist.
19. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßspule (2) mit einem bestimmten Abstand zueinander gewickelte, blanke Drähte aufweist.
20. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Komponenten des Sensors miniaturisiert auf einem Chip, bspw. als magnetoresistive oder fotoresistive Struktur ausgebildet sind.

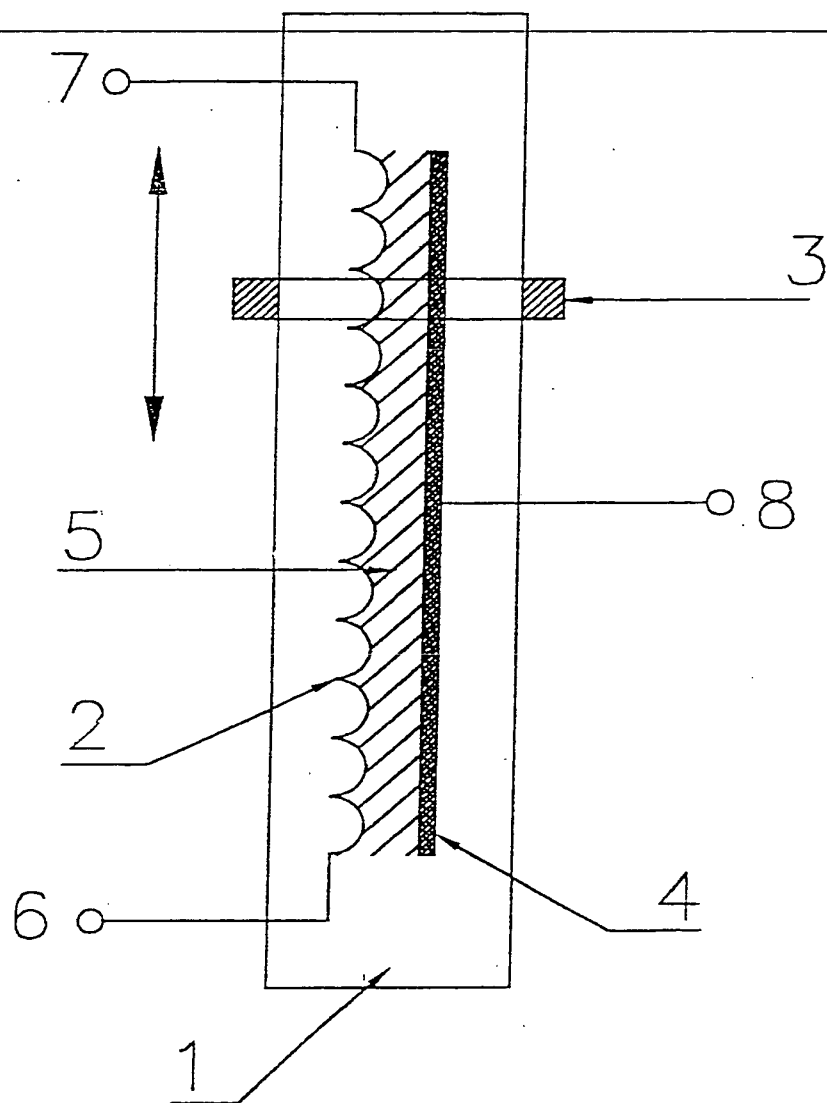


Fig. 1

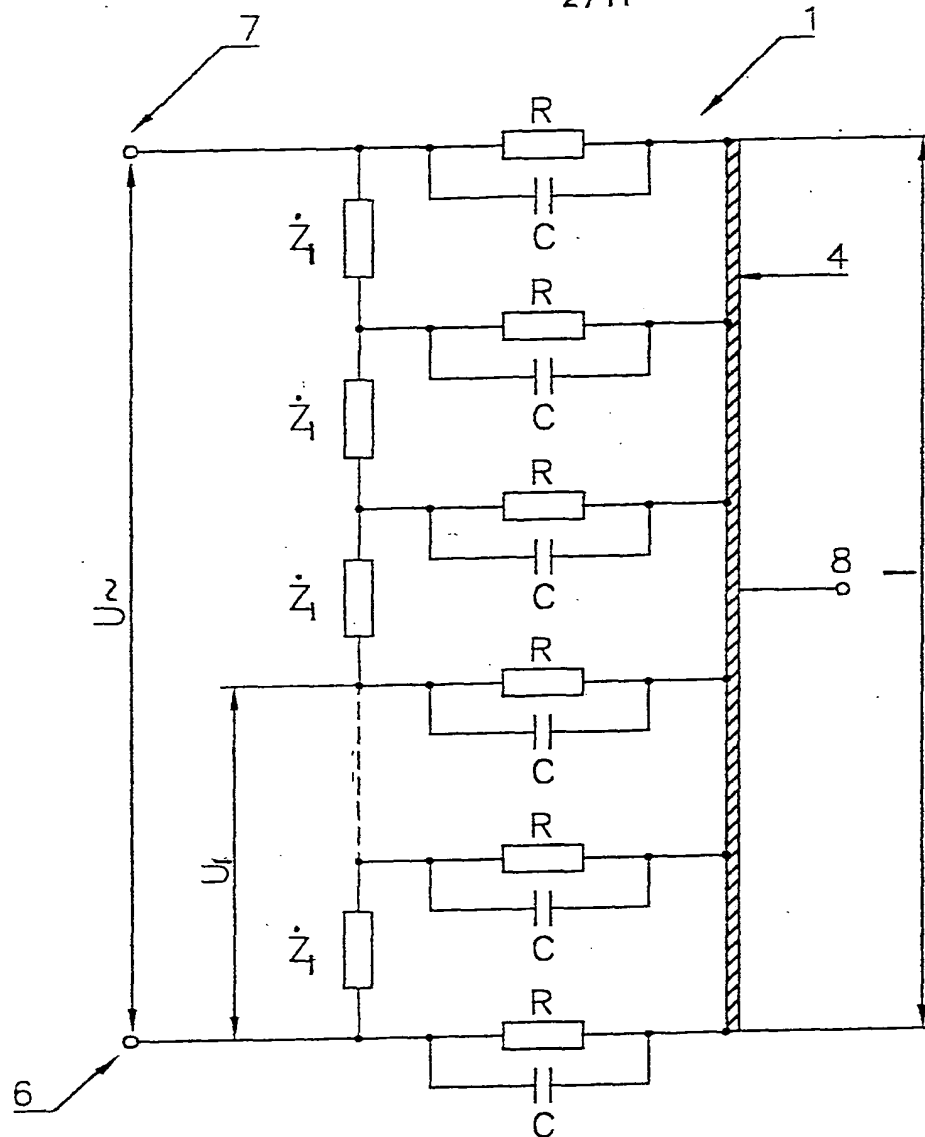
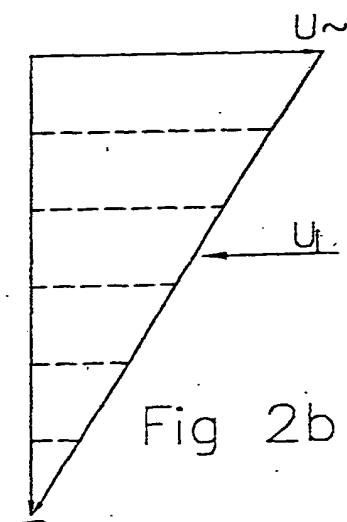


Fig 2a



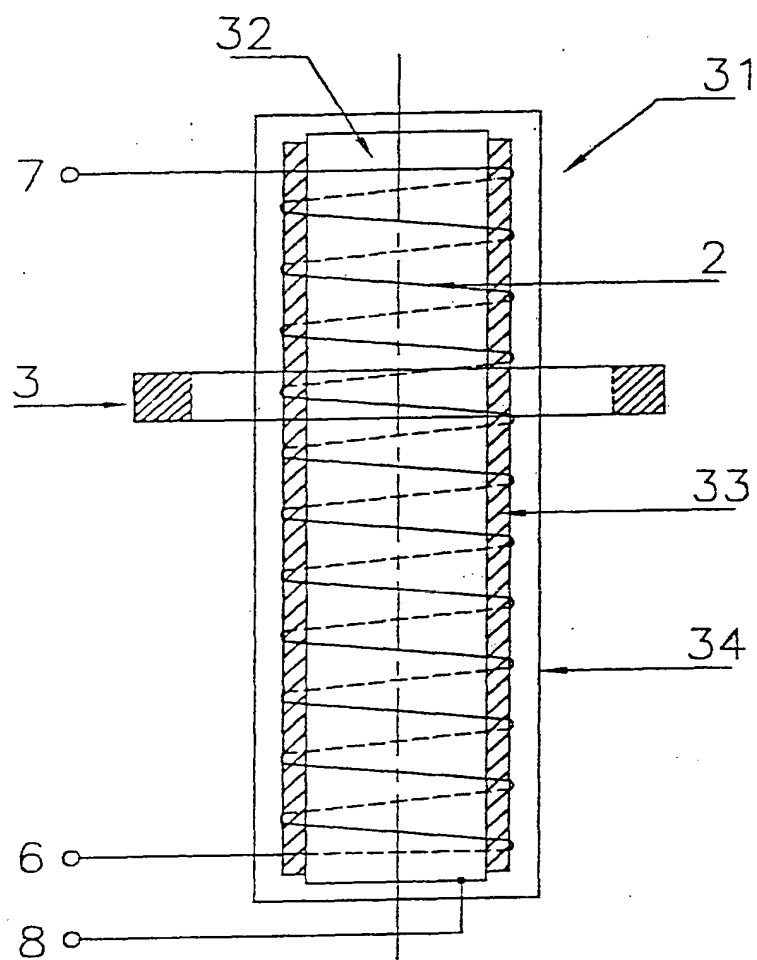


Fig. 3

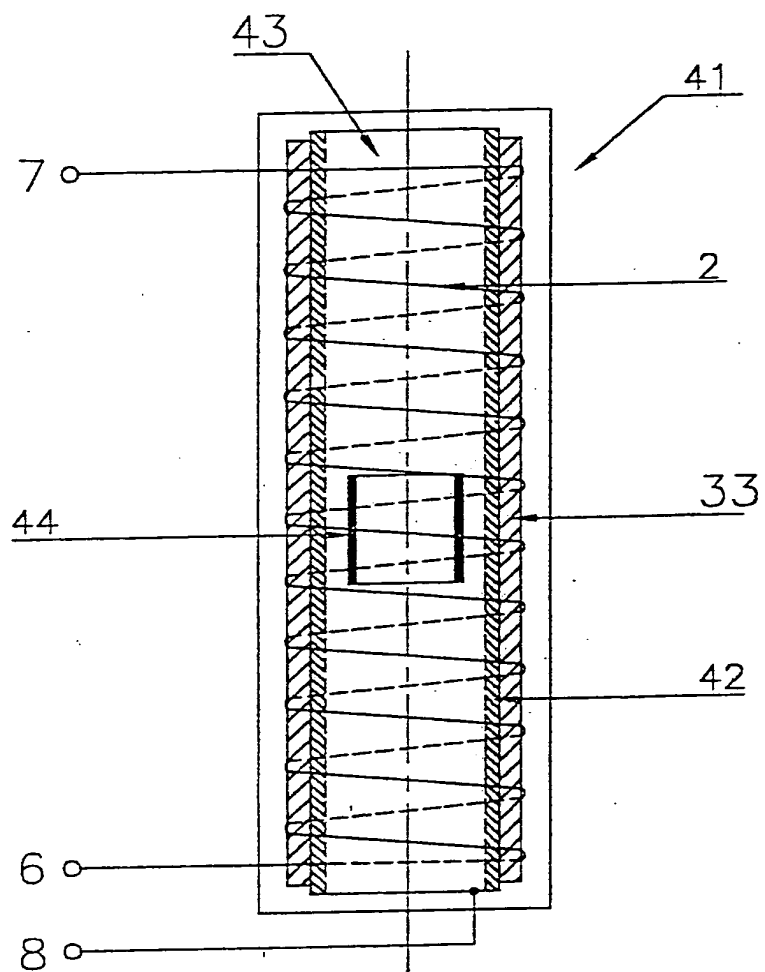


Fig. 4

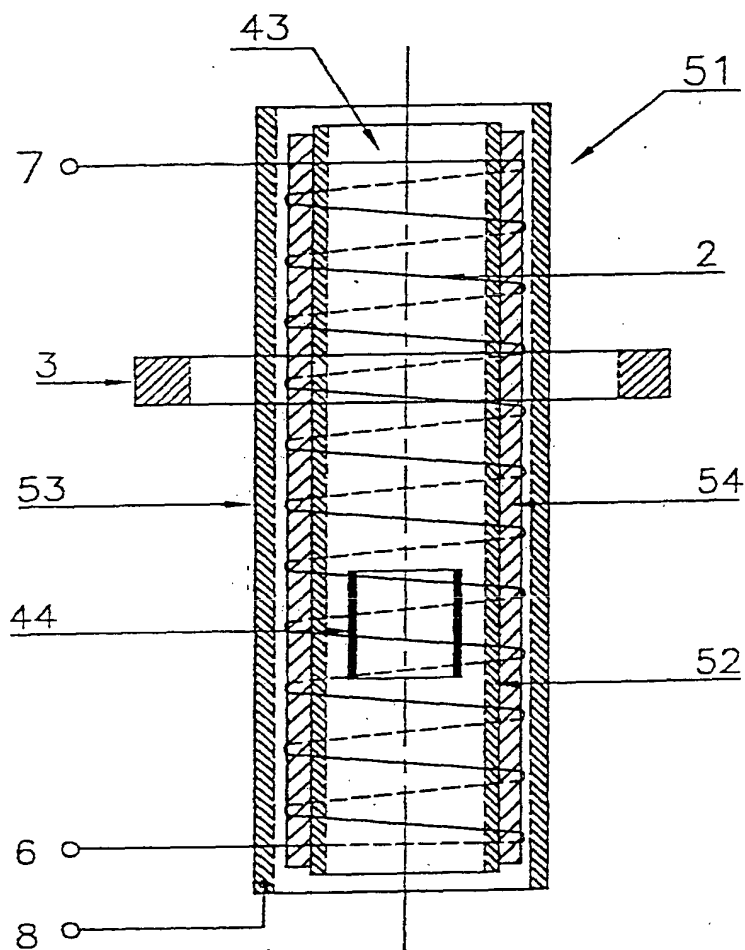


Fig. 5

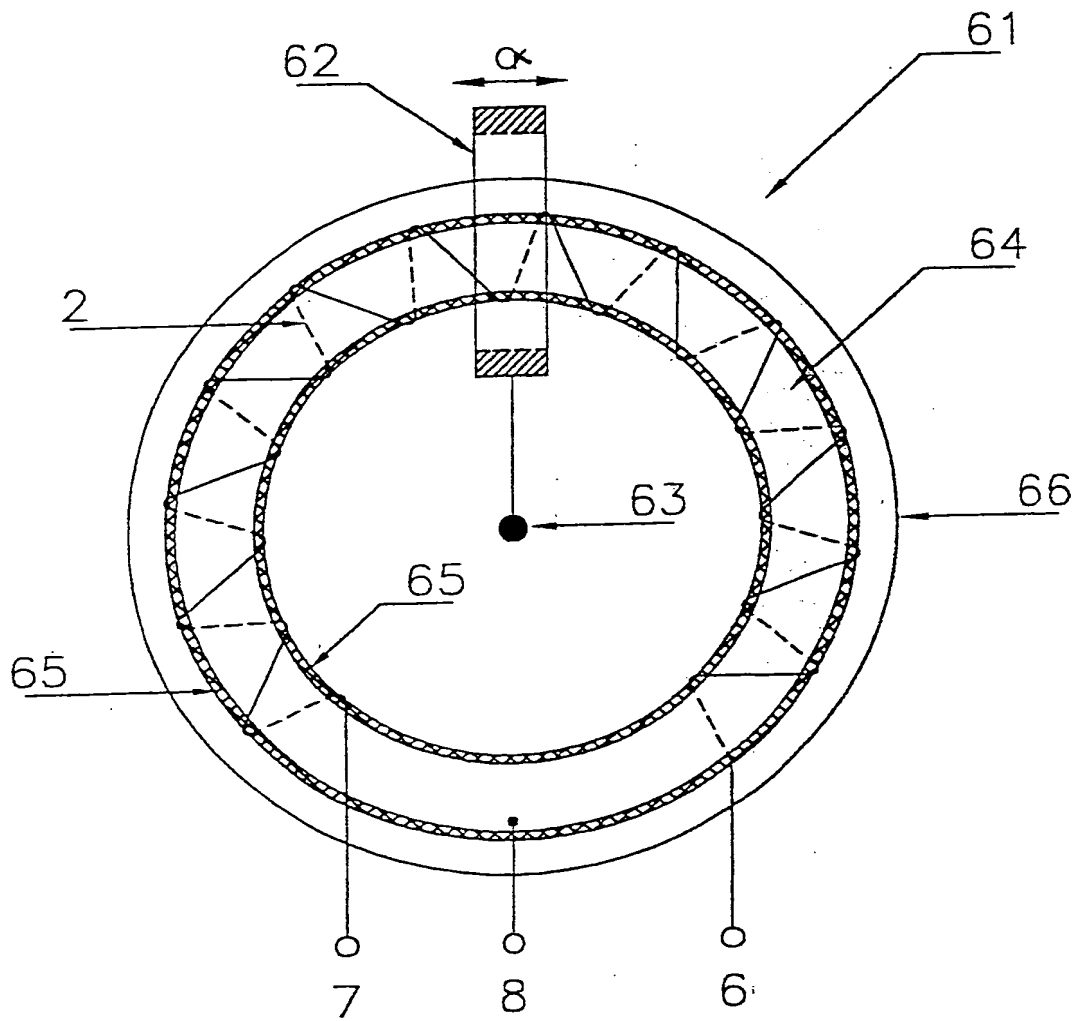


Fig. 6

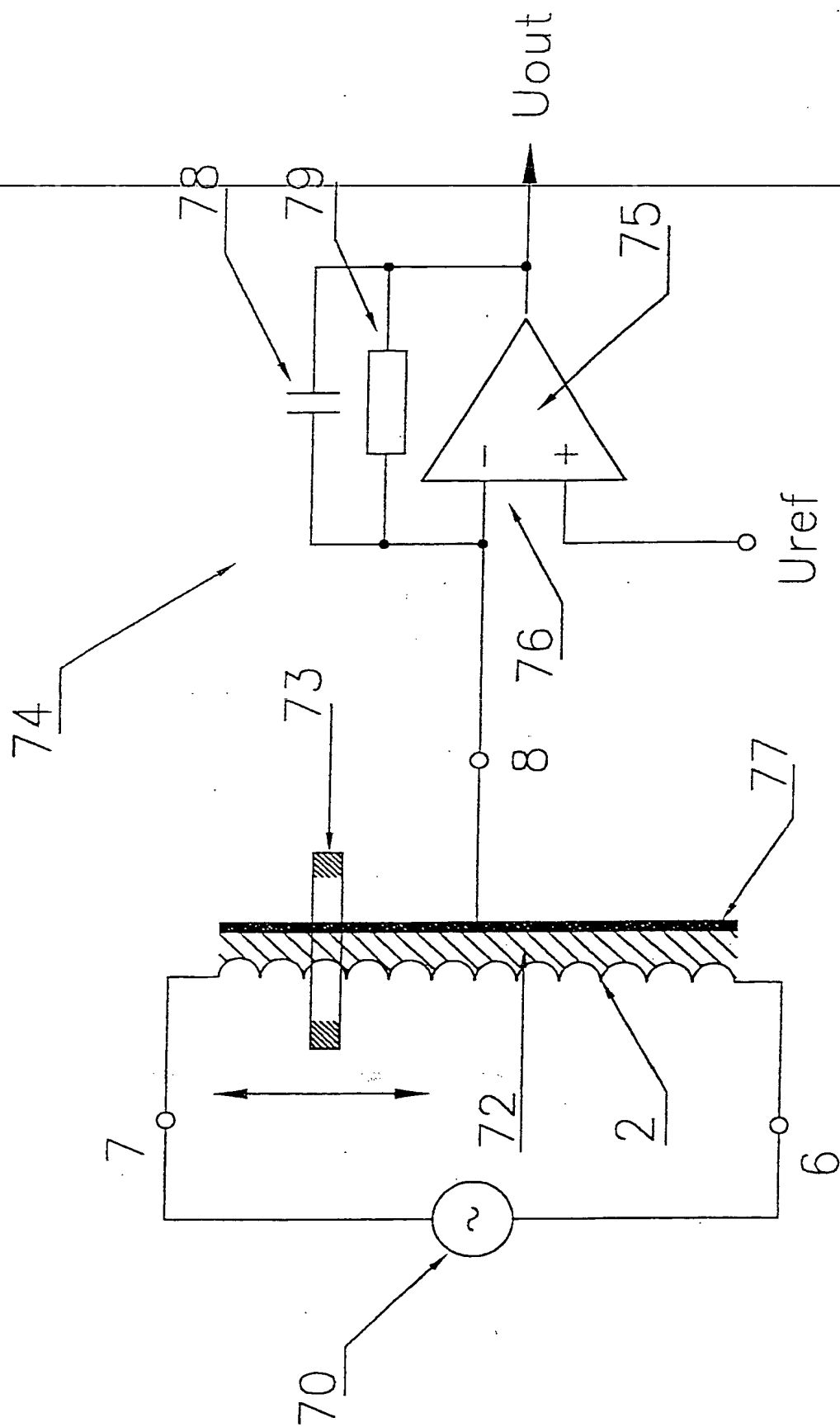


Fig. 7a

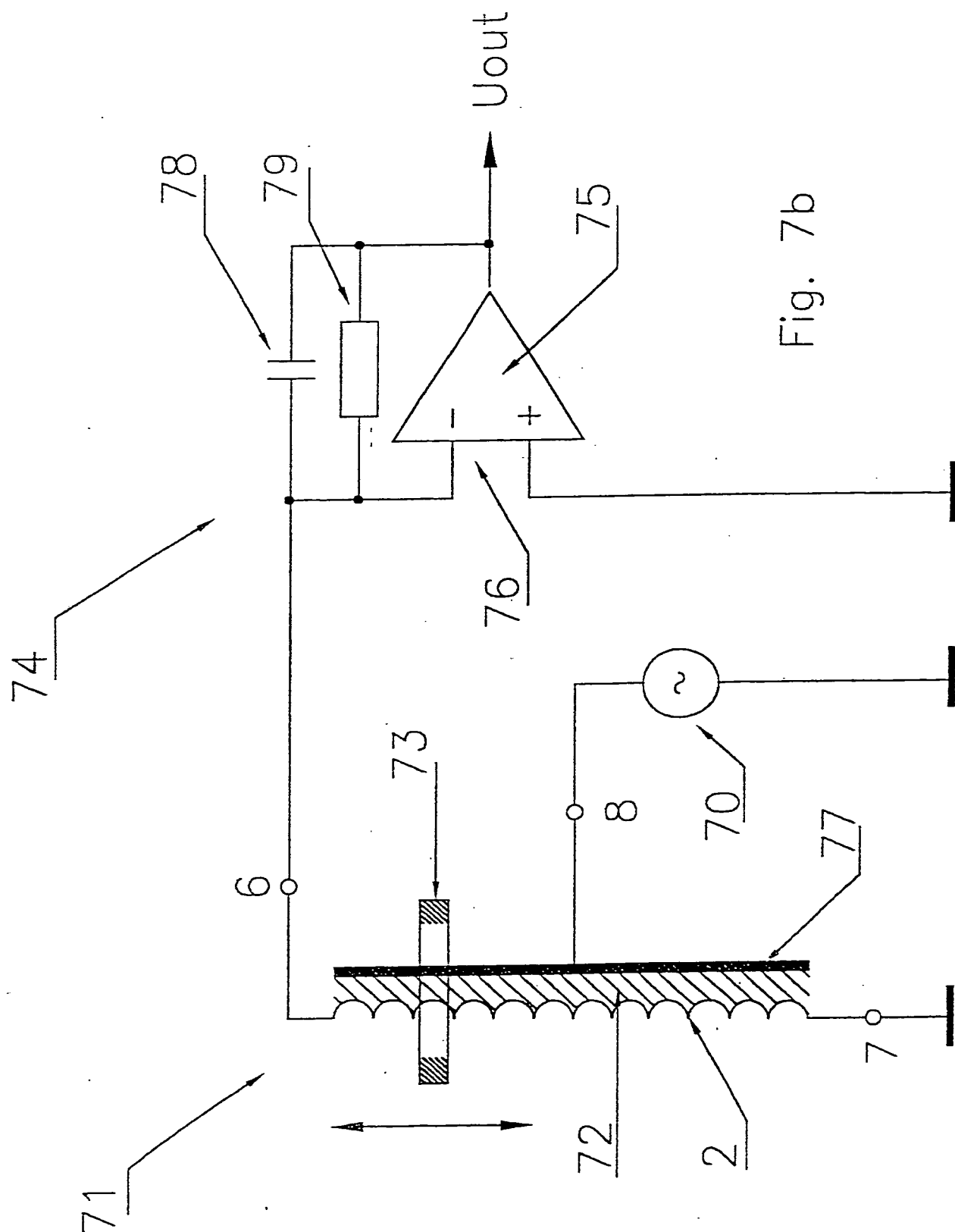


Fig. 7b

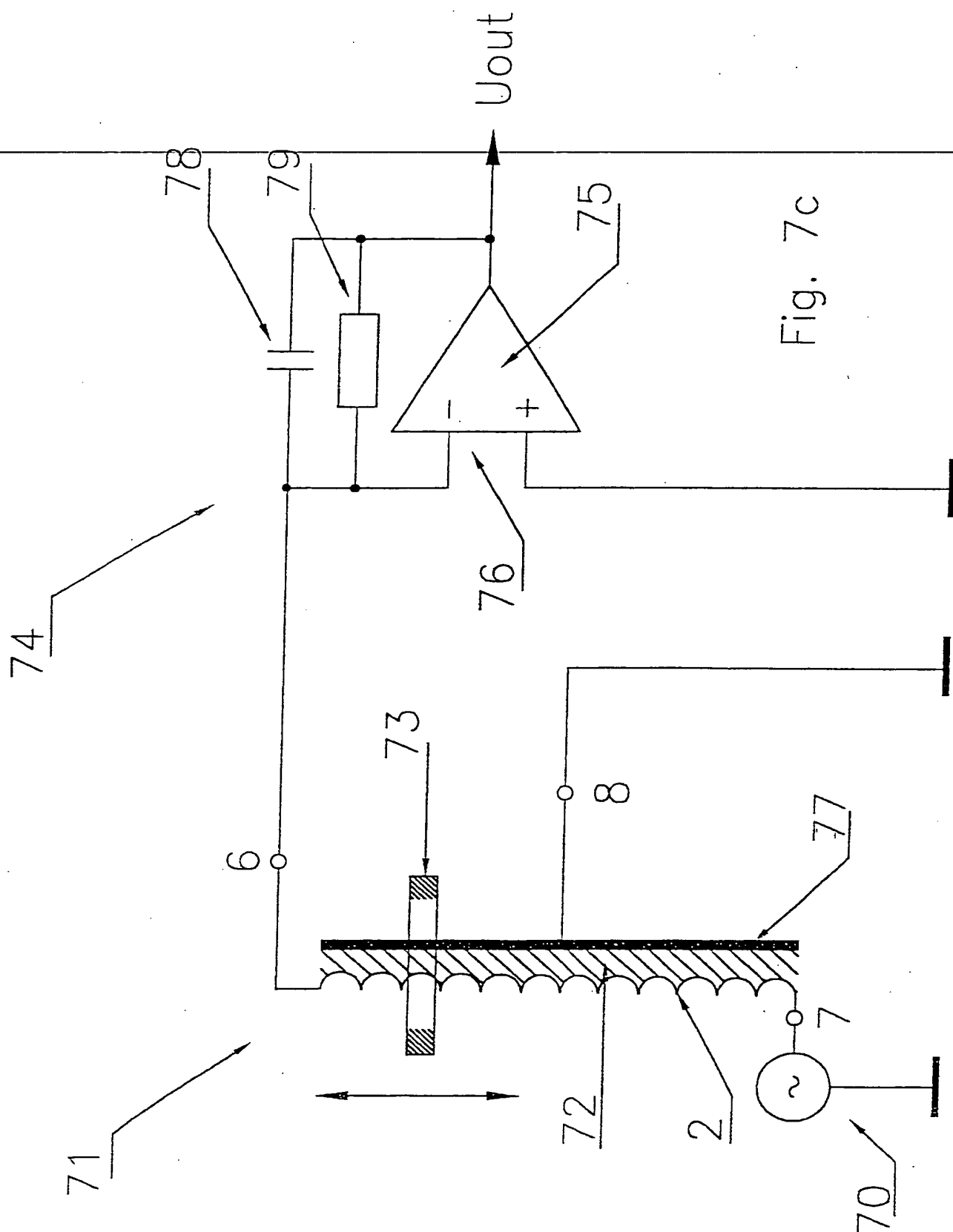


Fig. 7c

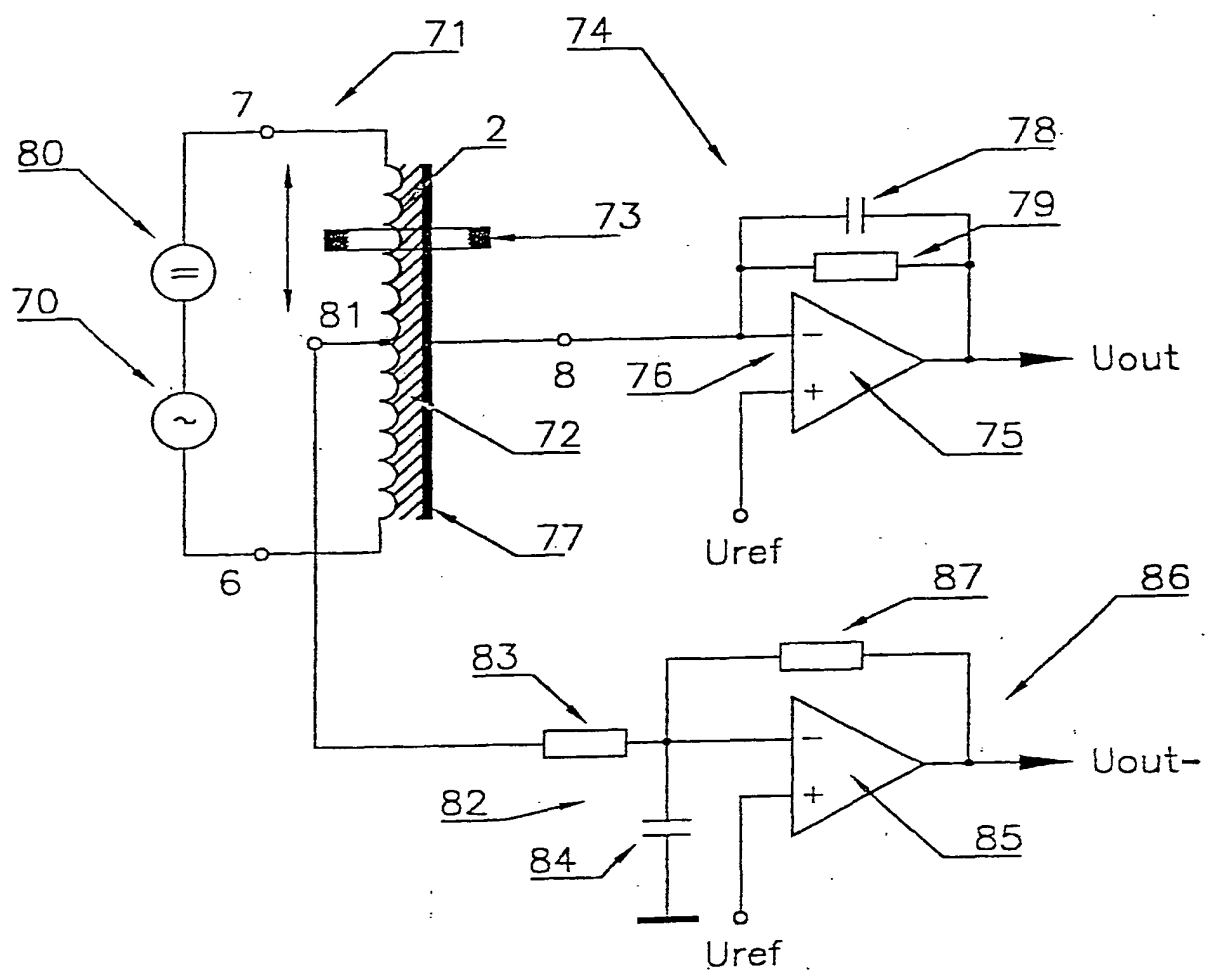


Fig. 7d

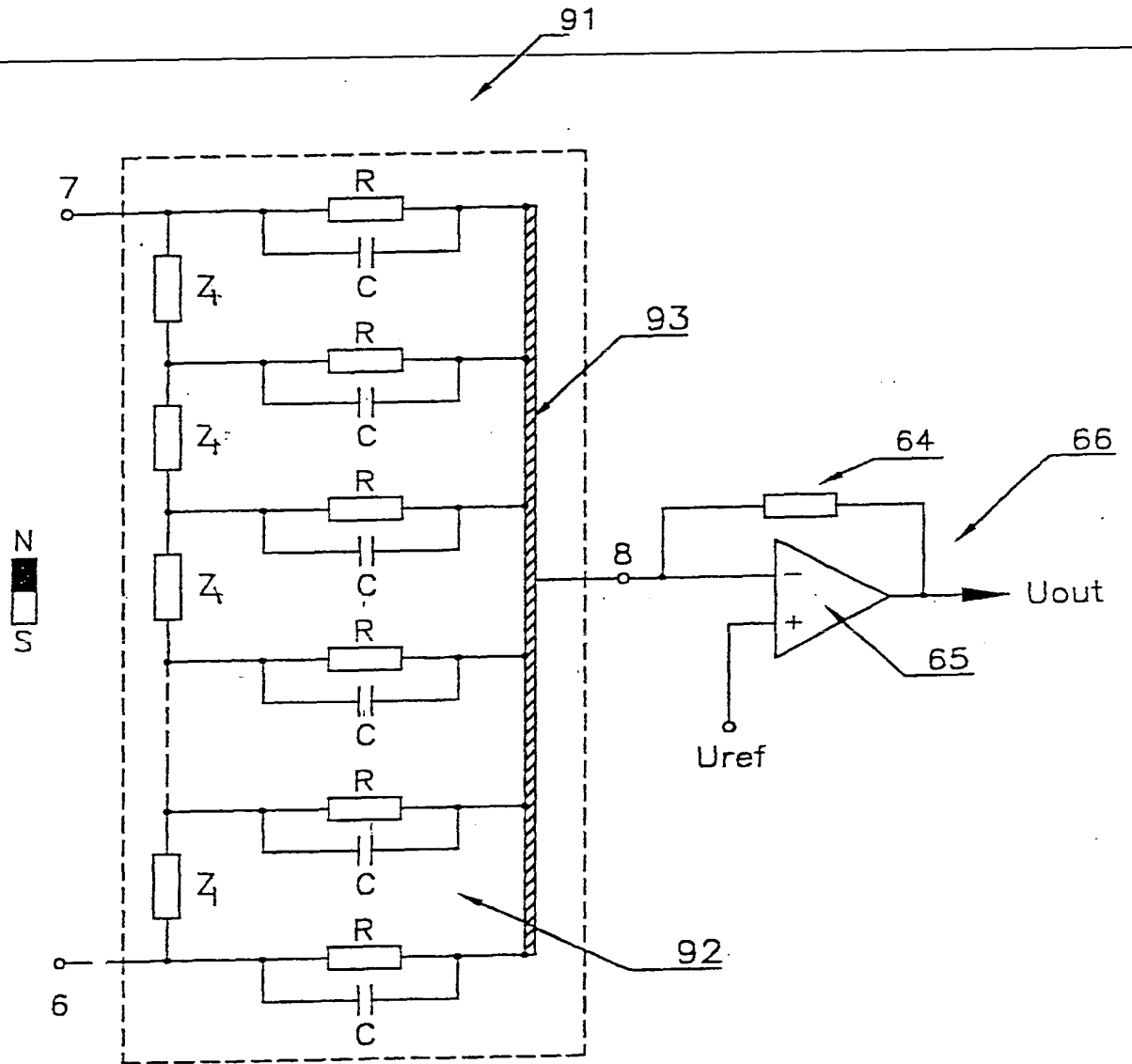


Fig 8



PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01D 5/20	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/59216 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 30. Dezember 1998 (30.12.98)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/01709</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 22. Juni 1998 (22.06.98)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 197 26 348.8 21. Juni 1997 (21.06.97) DE 197 52 497.4 27. November 1997 (27.11.97) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG [DE/DE]; Königbacher Strasse 15, D-94496 Ortenburg (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MEDNIKOV, Felix [RU/RU]; ul. Klinitscheskaja, 14-139, Samara, 443096 (RU). WISSPEINTNER, Karl [-/DE]; Griesbacherstrasse 23, D-94496 Ortenburg (DE).</p> <p>(74) Anwalt: ULLRICH & NAUMANN; Luisenstrasse 14, D-69115 Heidelberg (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>

(54) Title: EDDY CURRENT SENSOR

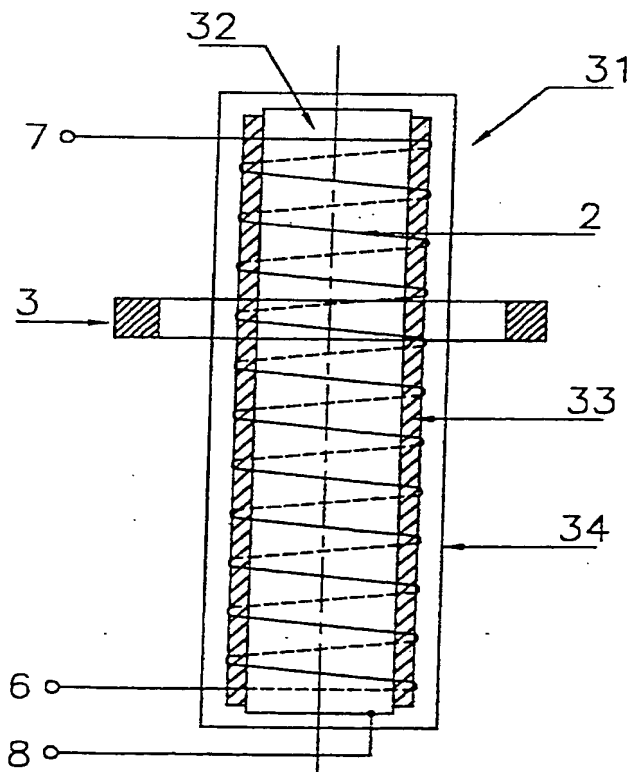
(54) Bezeichnung: WIRBELSTROMSENSOR

(57) Abstract

The invention relates to an eddy current sensor, comprising an exploring coil (2) with two terminals (6, 7) that is wound around a coil body (32), an alternating current source, an electrically conductive measuring probe (3) and an evaluation circuit, wherein the measuring probe (3) can be displaced in relation to the exploring coil (2) and the evaluation circuit generates an evaluation signal depending on the position of the measuring probe (3). The eddy current sensor (1) has an electrode (4) with a tap (8) enabling electrical contact. Said electrode, the windings of the exploring coil (2) and the intermediate layer form a component with distributed electromagnetic parameters. The output signals of said component are used to determine the position of the measuring probe (3).

(57) Zusammenfassung

Wirbelstromsensor mit einer auf einen Spulenkörper (32) gewickelten Meßspule (2) mit zwei Anschlüssen (6, 7), einer Wechselspannungsquelle, einer elektrisch leitenden Meßsonde (3) und einer Auswerteschaltung, wobei die Meßsonde (3) gegenüber der Meßspule (2) verschiebbar ist und die Auswerteschaltung ein Auswertesignal in Abhängigkeit von der Position der Meßsonde (3) erzeugt, wobei der Wirbelstromsensor (1) eine Elektrode (4) mit einem Abgriff (8) zur elektrischen Kontaktierung aufweist, die zusammen mit den Windungen der Meßspule (2) und der Zwischenschicht (33) ein Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern bildet, aus dessen Ausgangssignalen die Position der Meßsonde (3) bestimmbar ist.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

"Wirbelstromsensor"

Die Erfindung betrifft einen Wirbelstromsensor mit einer auf einen Spulenkörper gewickelten Meßspule mit zwei Anschlüssen, einer Wechselspannungsquelle, einer elektrisch leitenden Meßsonde und einer Auswerteschaltung, wobei die Meßsonde gegenüber der Meßspule verschiebbar ist und die Auswerteschaltung ein Auswertesignal in Abhängigkeit von der Position der Meßsonde erzeugt.

Ein derartiger Wirbelstromsensor ist aus der DE 42 25 968 A1 bekannt. Zur Auswertung der Position der Meßsonde sind dabei mehrere Spannungsabgriffe vorgesehen. Die unterschiedlichen an den Spannungsabgriffen anliegenden Potentiale werden einer Auswerteschaltung zugeführt. Die jeweils zwischen zwei Spannungsabgriffen angeordnete Meßsonde beeinflusst die Teilimpedanz des entsprechenden Spulenabschnitts und damit das Potential an den Spannungsabgriffen. Mit Hilfe der Auswerteschaltung läßt sich daher die Position des Meßobjekts bezüglich der Spannungsabgriffe bestimmen. Dabei besteht der Nachteil, daß das Verhältnis zwischen dem Meßbereich und der Länge des Sensors von der Anzahl der Spannungsabgriffe abhängt. Um einen möglichst großen Meßbereich bezüglich der Positionsbestimmung der Meßsonde zu erhalten, ist eine hohe Anzahl von Spannungsabgriffen der Meßspule erforderlich, was die Komplexität des Meßsensors erhöht. Gleichzeitig muß auch die Länge der Meßsonde angepaßt sein, welche vom Abstand der Spannungsabgriffe abhängig ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Wirbelstromsensor der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß bei einfachem Aufbau des Wirbelstromsensors ein möglichst großes Verhältnis zwischen Meßbereich und Länge des Sensors bezüglich der Messung der Position der Meßsonde erzielbar ist.

Eine andere Aufgabe der Erfindung ist, daß der Sensor eine gute Temperaturstabilität aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Danach weist der Wirbelstromsensor eine Elektrode mit einem Abgriff zur elektrischen Kontaktierung auf, die zusammen mit den Wicklungen der Meßspule und einer

Zwischenschicht ein Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern bildet, aus dessen Ausgangssignalen die Position der Meßsonde bestimmbar ist.

Erfindungsgemäß hat der Wirbelstromsensor dadurch sowohl induktive, als auch Widerstands- und kapazitive Bestandteile, wobei die Meßsonde nur den Teil der Meßspule beeinflusst, den sie überdeckt, aber die Impedanz der Meßspule insgesamt unabhängig von der Position der Meßsonde ist. Dabei kann die Ausdehnung der Meßsonde parallel zur Spulenachse sehr klein, theoretisch unendlich klein, sein.

Dadurch ist es möglich, einen hochauflösenden Wirbelstromsensor mit großem Verhältnis, bis zu 90%, zwischen dem Meßbereich und der Länge des Sensors, mit lediglich zwei Anschlüssen an der Meßspule und einem weiteren Abgriff der Elektrode bereitzustellen. Die zwei Anschlüsse sind dabei insbesondere mittelbar, d.h. über eine Beschaltung, oder unmittelbar mit den Klemmen einer Wechselspannungsquelle verbunden.

Durch den einfachen Aufbau des Wirbelstromsensors läßt sich dieser preisgünstig produzieren und hat lediglich drei Anschlüsse zur Kontaktierung der Spannungsversorgung bzw. der Auswerteschaltung. Infolgedessen kann der Wirbelstromsensor auch noch kompakter aufgebaut sein, da die Breite der Meßsonde sehr klein sein und die Meßspule eine geringere Länge in Achsenrichtung aufweisen kann. Darüber hinaus beeinflussen die Abmessungen der Meßsonde das Meßergebnis in geringerem Maße als bei der Lösung mit den Spannungsabgriffen. Dadurch ist der erfindungsgemäße Wirbelstromsensor besonders auch für die Miniaturisierung geeignet.

Bevorzugt ist die Zwischenschicht als Elektrode, als Leiterbahn oder -platte ausgebildet und parallel zur Achse der Meßspule angeordnet. Durch die parallele Anordnung entsteht eine Impedanz mit induktiven, kapazitiven und ohmschen Widerstandsbestandteilen, wobei der kapazitive Bestandteil zwischen der Zwischenschicht und den Wicklungen der Meßspule gebildet ist. Im Zusammenhang mit einer achsparallelen Verschiebung der Meßsonde wird das Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern auch in parallel zur Achse der Meßspule angeordneten Bereichen beeinflusst, was zu Ausgangssignalen führt, die sich zur einfachen Auswertung durch eine Auswerteschaltung heranziehen lassen.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist der gesamte Spulenkörper als Elektrode ausgebildet und besteht aus einem Material mit geringem elektrischen Widerstand, insbesondere einem ferromagnetischen Material. Dadurch ist einerseits der Spulenkörper in einfacher Form aus einheitlichem Material herstellbar und die Elektrode hat vorteilhaft eine besonders große Fläche. Der Spulenkörper kann als rohrartiges Bauteil ausgebildet sein.

Zwischen den Wicklungen der Meßspule und dem Spulenkörper wird eine Zwischenschicht angebracht. Diese Zwischenschicht kann auf der Oberfläche des Spulenkörpers aufgebracht sein. Durch die Materialeigenschaften und Geometrie der Zwischenschicht (elektrische Leitfähigkeit " σ ", Dielektrizitätszahl " ϵ ", Dicke) ist der Übergangswiderstand zwischen Wicklungen der Meßspule und Elektrode veränderbar.

Dabei kann die Meßspule aus isolierten oder blanken Drähten gewickelt sein. Werden blanke Drähte verwendet, müssen die Windungen in einem bestimmten Abstand zueinander gewickelt werden.

Bei einer anderen Weiterbildung der Erfindung dient die Isolationsschicht des Wicklungsdrahtes als die Zwischenschicht zwischen dem Spulenkörper und der Elektrode. In diesem Fall dominiert der kapazitive Bestandteil des Wirbelstromsensors, weil der ohmsche Widerstand der Zwischenschicht sehr groß ist.

Ist dagegen der ohmsche Anteil R kleiner als der kapazitive Anteil C der Zwischenschicht und dabei wesentlich größer als die Impedanz der Meßspule Z_1 , pro Längeneinheit, so ist das Ausgangssignal im wesentlichen vom ohmschen Anteil R abhängig.

Bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Spulenkörper ein Isolator und ein um die Meßspule angeordnetes Gehäuse bildet die Elektrode. Dabei kann das Gehäuse aus einem leitenden, nicht ferromagnetischen Material, insbesondere einem rostfreien Stahl, hergestellt sein. Besonders im Zusammenhang mit einer innerhalb des Spulenkörpers geführten Meßsonde läßt sich dadurch ein kompakter und gekapselter Wirbelstromsensor herstellen. Die Zwischenschicht kann einen komplexen Übergangswiderstand zwischen den Wicklungen der Meßspule und

der Elektrode mit einem negativen oder positiven Temperaturkoeffizienten aufweisen. Dadurch läßt sich der Temperatureinfluß auf das Ausgangssignal des Wirbelstromsensors kompensieren.

Bevorzugt ist der elektrische Widerstandswert der Elektrode pro Längeneinheit viel größer als der Widerstandswert der Meßsonde pro Längeneinheit. Dadurch lassen sich Wirbelstromeffekte in der Elektrode und Meßsonde gezielt beeinflussen.

Die Meßsonde ist als ein um die Meßspule angeordneter, elektrisch leitender Ring ausgebildet und ist kontaktlos auf der Außenoberfläche der Meßspule entlang der Achse der Meßspule verschiebbar. Die Meßsonde kann jedoch auch innerhalb des Spulenkörpers in einem parallel zur Spulenchse angeordneten Kanal verschiebbar angeordnet sein. Dadurch liegt die Meßsonde innerhalb der Meßspule geschützt und kann sehr klein ausgeführt sein. Die Meßsonde kann dabei auch Bestandteil eines Meßobjekts sein oder das Meßobjekt selbst bilden. Im letztgenannten Fall können bspw. innerhalb eines rohrartigen Spulenkörpers angeordnete Partikel als Meßsonde ausgeführt sein.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Elektrode, die Zwischenschicht und der Spulenkörper mit jeweils ihren Längsachsen parallel zur Achse der Meßspule ausgerichtet und/oder die Auslenkung der Meßsonde erfolgt parallel zur Achse der Meßspule. Dadurch entsteht eine einfache lineare Anordnung, die leicht auszuwertende Ausgangssignale für eine Auswerteschaltung erzeugt.

Bei einer anderen bevorzugten Weiterbildung der Erfindung bildet der Spulenkörper, ggf. mit der Elektrode, einen geschlossenen Ring und die Meßsonde ist entlang des Rings verschiebbar gelagert. Dabei kann die Meßsonde wiederum einen um den Spulenkörper und die Meßspule angeordneten Ring bilden oder innerhalb des Spulenkörpers in einem Kanal gelagert sein. Diese Ausführungsform eignet sich besonders zur Erfassung von Winkeländerungen, die ein mit der Meßsonde verbundenes Meßobjekt ausführt.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind beide Anschlüsse der Meßspule mit einer Wechselspannungsquelle verbunden und die Auswerteschaltung weist einen Operationsverstärker auf, dessen Eingang mit dem Abgriff der Elektrode

verbunden ist. Erfindungsgemäß kann der invertierende Eingang des Operationsverstärkers mit dem Abgriff der Elektrode verbunden sein. Die Auswerteschaltung erfaßt aufgrund der Ausgangssignaländerung am Wirbelstromsensor, d.h. der Spannungsänderung, die Position bzw. die Positionsänderung der Meßsonde gegenüber der Meßspule.

Bei einer anderen Weiterbildung der Erfindung ist zwischen dem Abgriff der Elektrode und dem Anschluß der Meßspule eine Wechselspannung angelegt und der zweite Anschluß der Meßspule ist mit einem Eingang eines Operationsverstärkers der Auswerteschaltung verbunden. Bevorzugt ist der Anschluß der Meßspule mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers verbunden. Auch diese Auswerteschaltung ist durch Widerstände und Kondensatoren derart beschaltet, daß ein Vergleichen oder Addieren von Ausgangsspannungen ermöglicht wird.

Bei einer anderen Weiterbildung der Erfindung weist die Meßspule einen weiteren Anschluß, insbesondere als Mittelabgriff der Meßspule auf. Der Mittelabgriff ist über einen Tiefpaß mit einem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers verbunden. Das Ausgangssignal kann zur Kompensation des Temperaturgradienteneinflusses der Impedanz des Wirbelstromsensors verwendet werden.

Schließlich kann der Abgriff der Elektrode noch mit der Masse verbunden sein. Die beiden Anschlüsse der Meßspule sind dann bspw. mit einer Wechselspannungsquelle und mit dem Eingang eines Operationsverstärkers verbunden.

Sämtliche Komponenten des Sensors können auf einem Chip, bspw. als magnetoresistive oder fotoresistive Struktur, miniaturisiert sein.

Weitere Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung. Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Es zeigen, jeweils in schematischer Darstellung,

Fig. 1 eine vereinfachte Darstellung des erfindungsgemäßen Wirbelstromsensors nach einem ersten Ausführungsbeispiel,

- Fig. 2a ein Ersatzschaltbild des Wirbelstromsensors nach Fig. 1,
- Fig. 2b ein Funktionsschaubild, in dem die Veränderung der Meßspannung U in Abhängigkeit von der Auslenkung der Meßspule gezeigt ist,
- Fig. 3 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor nach einem zweiten Ausführungsbeispiel,
- Fig. 4 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor nach einem dritten Ausführungsbeispiel,
- Fig. 5 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor nach einem vierten Ausführungsbeispiel,
- Fig. 6 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor zur Erfassung von Wegänderungen gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel,
- Fig. 7a einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer ersten Auswerteschaltung,
- Fig. 7b einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer zweiten Auswerteschaltung,
- Fig. 7c einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer dritten Auswerteschaltung,
- Fig. 7d einen erfindungsgemäßen Wirbelstromsensor mit einer vierten Auswerteschaltung, und
- Fig. 8 einen zur Miniaturisierung geeigneten magnetorestitiven Wirbelstromsensor.

In Fig. 1 ist der erfindungsgemäße Wirbelstromsensor 1 mit einer Meßspule 2 und einer ringförmigen Meßsonde 3 dargestellt. Der Wirbelstromsensor 1 weist eine par-

allel zur Achse der Meßspule 2 angeordnete Elektrode 4 und eine zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4 angeordnete Zwischenschicht 5 auf. Die Zwischenschicht 5 besteht aus einem Isoliermaterial das parallel zur Achse der Meßspule 2 angeordnet ist und ein Material mit elektromagnetischen und elektrisch verteilten Parametern aufweist. Die Meßspule 2 weist zwei Anschlüsse 6 und 7 zur elektrischen Kontaktierung auf. Ebenso weist die als Leiterbahn ausgeführte Elektrode 4 einen Abgriff 8 auf, um daran insbesondere eine Auswerteschaltung zur Erfassung der Position der Meßsonde 3 anzuschließen. Die Meßspule 2 ist bevorzugt als einlagige Spule ausgeführt und der Wirbelstromsensor 1 kann in der Art von Halbleitertransistoren eine homogene dreipolige Struktur bilden.

Fig. 2a zeigt das elektrische Ersatzschaltbild des Wirbelstromsensors 1 mit der homogenen Struktur der Länge l . Dabei läßt sich der induktive, kapazitive und Widerstands-Anteil des Wirbelstromsensors 1 bei einer homogenen Struktur der Länge l durch eine komplexe Impedanz \dot{Z}_1 und durch eine zum ohmschen Widerstand R parallel geschaltete Kapazität C darstellen.

Dabei ist \dot{Z}_1 jeweils die Impedanz der Meßspule 2 pro Längeneinheit, R der Widerstand der Zwischenschicht 5, d.h. der ohmsche Übergangswiderstand zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4 pro Längeneinheit sowie C die Kapazität zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4 pro Längeneinheit.

Dabei ist jeweils der Widerstand der Elektrode 4 vernachlässigt, der Widerstand R ist viel größer als die Impedanz \dot{Z}_1 der Meßspule 2 pro Längeneinheit und der Wert $1/j\omega C$ des kapazitiven Anteils pro Längeneinheit ist viel größer als die Impedanz \dot{Z}_1 der Meßspule 2 pro Längeneinheit.

Wenn das Gesamtpotential \dot{U}_m zwischen den Punkten 6 und 7 anliegt, ändert sich unter diesen Bedingungen das Potential \dot{U}_1 entlang der Meßspule 2 praktisch linear. Dieser Zusammenhang ist in Fig. 2b gezeigt. Da, wie in Fig. 2a dargestellt, der ohmsche zum kapazitiven Anteil einer homogenen Struktur parallel geschaltet ist, dominiert in Abhängigkeit der Materialeigenschaften der Zwischenschicht 5 (elektrische Leitfähigkeit σ , Dielektrizitätszahl ϵ , Abstand zwischen den Windungen der Meßspule 2 und der Elektrode 4) und der Frequenz entweder der ohmsche oder der ka-

pazitive Anteil der Übergangsimpedanz zwischen der Meßspule 2 und der Elektrode 4.

Dabei kann die Meßspule 2 aus isolierten oder blanken Drähten gewickelt sein. Werden blanke Drähte verwendet, müssen die Windungen in einem bestimmten Abstand gewickelt werden.

Fig. 3 zeigt die einfachste Ausführungsform der Erfindung, wobei der Wirbelstromsensor 31 einen zylinderförmig ausgebildeten Spulenkörper 32 mit der einlagig darauf gewickelten Meßspule 2 aufweist. Zwischen der äußeren Oberfläche des Spulenkörpers 32 und den Wicklungen der Meßspule 2 ist eine Zwischenschicht 33 auf die Oberfläche des Spulenkörpers 32 aufgebracht. Der Spulenkörper 32 ist aus einem Material mit geringem elektrischen Widerstand hergestellt, z.B. einem ferromagnetischen Stahl. Die Meßspule 2, der Spulenkörper 32 und die Zwischenschicht 33 sind in einem Gehäuse 34 angeordnet. Die Meßsonde 3 ist parallel zur Achse der Meßspule 2 verschiebbar und gegenüber den Wicklungen der Meßspule 2 isoliert. Der Spulenkörper 32, der als Elektrode wirkt, weist einen Abgriff 8 auf. Die Meßsonde 3 besteht aus einem elektrisch leitenden Material und ist ringförmig ausgebildet, so daß Wirbelströme darin erzeugbar sind. Das Gehäuse 34 kann aus Kunststoff oder aus nicht ferromagnetischem Stahl hergestellt sein.

Der in Fig. 4 dargestellte Wirbelstromsensor 41 weist einen aus nicht ferromagnetischem, rostfreiem Stahl hergestellten Spulenkörper 42 auf, der in Form eines Rohres ausgebildet ist und innen einen zylinderförmigen Kanal 43 aufweist. In dem Kanal 43 ist eine Meßsonde 44 in Form eines ferromagnetischen Kerns axial verschiebbar angeordnet. Auf dem Spulenkörper 42 an der äußeren Oberfläche ist wiederum die Zwischenschicht 33 aufgebracht, um die Meßspule 2 gegenüber dem Spulenkörper 42 zu isolieren.

Der in Fig. 5 dargestellte Wirbelstromsensor 51 weist einen nicht leitenden Spulenkörper 52, insbesondere aus Kunststoff, mit einer auf dessen äußeren Oberfläche aufgewickelten einlagigen Meßspule 2 auf, die gegenüber einem äußeren zylinderförmigen Gehäuse 53 durch eine Zwischenschicht 54 getrennt ist. Das Gehäuse 53 kann aus leitendem, nicht ferromagnetischem Material hergestellt sein und von einer ersten leitenden Meßsonde 3 ringförmig umschlossen sein. Alternativ oder zusätzlich

kann eine andere Meßsonde 44 in einem Kanal 43 im Spulenkörper 52 angeordnet sein. Das Gehäuse 53 ist bei dieser Ausführungsform als Elektrode ausgebildet.

In Fig. 6 ist der Wirbelstromsensor 61 zur Erfassung von Winkeländerungen der Meßsonde 62 vorgesehen. Die Meßsonde 62 ist an einer Lagerung 63 um einen Winkel verdrehbar gelagert. Eine Meßspule 64 ist einlagig auf einen Spulenkörper 64 aus Stahl gewickelt und durch eine Zwischenschicht 65 getrennt. Der Spulenkörper 64 ist als Elektrode ausgebildet und mit dem Abgriff 8 verbunden. Der Wirbelstromsensor 61 weist ein Gehäuse 66 auf, um das die ringförmige Meßsonde 62 geführt ist. Das Gehäuse 65 besteht aus einem Isolationsmaterial.

In Fig. 7a ist ein Wirbelstromsensor 71, der eine Zwischenschicht 72 und eine axial verschiebbare Meßsonde 73 aufweist, mit einer Auswerteschaltung 74 versehen, um die Position der Meßsonde 73 zu erfassen. Die Auswerteschaltung 74 weist einen Operationsverstärker 75 auf, der über seinen invertierenden Eingang 76 mit dem Abgriff 8 der Elektrode 77 verbunden ist. Die Übergangsimpedanz der Zwischenschicht 72 ist größer als die induktive Impedanz der Spule 2. Dadurch ändert sich die Spannung entlang der Meßspule 2 zwischen den Anschlüssen 6 und 7 linear. Dazu ist erforderlich, daß an den Anschlüssen 6 und 7 der Meßspule 2 eine Wechselspannungsquelle 70 angeschlossen ist. Die linear veränderliche induzierte Spannung wird über einen Addierer der Auswerteschaltung, die aus dem Operationsverstärker 75, einem Kondensator 78 und einem Widerstand 79 besteht, zu einer Ausgangsspannung U_{out} aufsummiert. In der Auswerteschaltung 74 wird die Addition der Spannungswerte U_e mit einem summierenden Operationsverstärker 75 durchgeführt. Das Potential des invertierenden Eingangs 76 des Operationsverstärkers 75 ist Null, das bedeutet, daß die Spannungswerte U_i unabhängig von einander addiert werden können.

Wenn die Meßspule 2 mit zwei zueinander komplementären Spannungen gespeist wird, d.h. symmetrisch zum Referenzpotential U_{ref} ist, und die Meßsonde 73 sich in der Mitte der Meßspule 2 befindet, ist $U_{out} = 0$. Wenn die Meßsonde 73 aus der Mitte ausgelenkt wird, ändert sich die Ausgangsspannung U_{out} proportional und die Phase ändert sich um 180° .

Der Einfluß der Temperatur auf die Stabilität der Ausgangsspannung U_{out} kann eliminiert werden, wenn die Zwischenschicht aus einem Isolationsmaterial gefertigt wird ($R \gg j\omega C$) und die Dielektrizitätszahl ϵ des Isolationsmaterials einen negativen Temperaturkoeffizienten aufweist, wenn die Meßspule 2 einen positiven Temperaturkoeffizienten besitzt.

In der Fig. 7b ist der Wirbelstromsensor 71 mit anderer Beschaltung durch eine Wechselspannungsquelle 70 und die Auswerteschaltung 74 dargestellt. Dabei liegt die Meßspule 2 mit ihrer Ausgangsklemme 7 auf Masse und ist mit ihrem Anschluß 6 mit der Auswerteschaltung 74 verbunden. Der Operationsverstärker 75 ist mit seinem nicht invertierenden Eingang auf Masse gelegt und erzeugt an seinem Ausgang das Auswertesignal U_{out} . Der Abgriff 8 der Elektrode 77 ist mit der Wechselspannungsquelle 70 verbunden. Die Zwischenschicht 72 ist aus einem Isolationsmaterial hergestellt ($R \gg j\omega C$). In diesem Fall kann die Dielektrizitätszahl ϵ des Isolationsmaterials einen positiven Temperaturkoeffizienten aufweisen, damit der Temperatureinfluß auf das Auswertesignal U_{out} kompensiert wird.

In Fig. 7c ist eine weitere Beschaltung des Wirbelstromsensors 71 dargestellt. Dabei ist die Meßspule 2 mit ihrem Anschluß 7 an die Wechselspannungsquelle 70 angeschlossen und mit ihrem Anschluß 6 mit der Auswerteschaltung 74 verbunden. Der Abgriff 8 der Elektrode 77 und der nicht invertierende Ausgang des Operationsverstärkers 75 liegen auf Masse. Das Auswertesignal U_{out} gibt wiederum Aufschluß über die Position der Meßsonde 73. In beiden letztgenannten Beschaltungen des Wirbelstromsensors 71 ist bei bestimmten Frequenzen eine Stromresonanz erzielbar. Dadurch ist eine maximale Empfindlichkeit, d.h. eine maximale Auflösung des Auswertesignals U_{out} möglich.

Der Wirbelstromsensor 71 in Fig. 7d ist mit seinen Anschlüssen 6 und 7 mit der Wechselspannungsquelle 70 und zusätzlich mit einer Gleichspannungsquelle 80 verbunden. Die Gleichspannungsquelle kann dabei beliebig gepolt und ein- und ausschaltbar sein. Dadurch überlagert sich die Wechselspannung der Wechselspannungsquelle 70 mit einer Gleichspannung. Die Gleichspannungsquelle 80 kann aber auch ein- und ausschaltbar sein, so daß ein gepulster Strom entsteht. Die Elektrode 77 ist über ihren Abgriff 8 mit der schon beschriebenen Auswerteschaltung 74 verbunden, wobei der nicht invertierende Ausgang des Operationsverstärkers 75 auf

Referenzpotential liegt. Die Auswertespannung U_{out} ist durch den Operationsverstärker 75 am Ausgang erzeugbar. Die Spule 2 weist einen Mittelabgriff 81 auf, mit dem sie über einen Tiefpaß 82, der zumindest einen Widerstand 83 und einen Kondensator 84 aufweist, am Operationsverstärker 85 der Auswerteschaltung 86 angeschlossen ist. Der Operationsverstärker 85 ist über einen weiteren Widerstand 87 beschaltet. Das Auswertesignal U_{out-} des Operationsverstärkers 85 (Konstantspannung) ist zum Temperaturgradienten proportional und unabhängig von der Position der Meßsonde 73. Das Ausgangssignal U_{out-} des Operationsverstärkers 85 kann von dem Auswertesignal U_{out} des Operationsverstärkers 75, das der Positionsänderung der Meßsonde 73 proportional ist, subtrahiert werden. Vor der Subtraktion kann das Auswertesignal U_{out-} mit einem entsprechenden Übertragungsfaktor multipliziert sein. Auf diese Weise lassen sich Temperaturgradienteneinflüsse besonders einfach und effektiv kompensieren.

Fig. 8 zeigt einen zur Miniaturisierung geeigneten magnetoresistiven Wirbelstromsensor. Der Wirbelstromsensor 91 weist eine Zwischenschicht 92 und eine Elektrode 93 auf. Die Elektrode 93 ist über den Abgriff 8 in schon beschriebener Weise mit der Auswerteschaltung 75 verbunden, die das Auswertesignal U_{out} erzeugt. Als Alternative kann statt der magnetoresistiven auch eine fotoresistive Struktur zur Herstellung des Wirbelstromsensors 91 vorgesehen sein. Auf diese Weise läßt sich der Wirbelstromsensor 91 in stark verkleinerter Form auf einem Chip unterbringen, so daß lediglich ein geringer Raumbedarf für den Wirbelstromsensor 91 erforderlich ist.

Patentansprüche

1. Wirbelstromsensor mit einer auf einen Spulenkörper (32; 42; 52; 64) gewickelten Meßspule (2) mit zwei Anschlüssen (6, 7), einer Wechselspannungsquelle (70), einer elektrisch leitenden Meßsonde (3; 44; 62; 73) und einer Auswerteschaltung (74), wobei die Meßsonde (3; 44; 62; 73) gegenüber der Meßspule (2) verschiebbar ist und die Auswerteschaltung (74) ein Auswertesignal (U_{out}) in Abhängigkeit von der Position der Meßsonde (3; 44; 62; 73) erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß der Wirbelstromsensor (1; 31; 41; 51; 61; 71; 91) eine Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) mit einem Abgriff (8) zur elektrischen Kontaktierung aufweist, die zusammen mit den Wicklungen der Meßspule (2) und einer Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) ein Bauelement mit verteilten elektromagnetischen Parametern bildet, aus dessen Ausgangssignalen die Position der Meßsonde (3; 44; 62; 73) bestimmbar ist.
2. Wirbelstromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) als Leiterbahn oder -platte ausgebildet und parallel zur Achse der Meßspule (2) angeordnet ist.
3. Wirbelstromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der gesamte Spulenkörper (32; 42; 64; 77) als Elektrode ausgebildet ist und aus einem Material mit geringem elektrischen Widerstand, insbesondere einem ferromagnetischen Material, besteht.
4. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) die Wicklungen der Meßspule (2) gegenüber der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) elektrisch isoliert.
5. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) aus einem Material mit hohem elektrischen Widerstand hergestellt ist.

6. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) eine Isolationsschicht des Wickeldrahtes der Meßspule (2) ist.
-
7. Wirbelstromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenkörper (52) einen Isolator und ein um die Meßspule (2) angeordnetes Gehäuse (53) der Elektrode bildet.
8. Wirbelstromsensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (53) aus einem leitenden, nicht ferromagnetischen Material, insbesondere einem rostfreien Stahl, hergestellt ist.
9. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Widerstand der Zwischenschicht (5; 33; 54; 65; 72; 92) einen negativen oder positiven Temperaturkoeffizient aufweist.
10. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrische Widerstandswert der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) pro Längeneinheit viel kleiner als die Impedanz der Meßspule (2) pro Längeneinheit ist.
11. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (3; 62; 73) als um die Meßspule (2) angeordneter elektrisch leitender Ring ausgebildet ist.
12. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (44) innerhalb des Spulenkörpers (42; 52) in einem parallel zur Spulenachse angeordneten Kanal (43) verschiebbar angeordnet ist.
13. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93), die Zwischenschicht (5; 33; 52; 65; 72; 92) und der Spulenkörper (32; 42; 54; 64; 77) mit jeweils ihren Längsachsen parallel zur Achse der Meßspule (2) ausgerichtet sind und/oder die Auslenkung der Meßsonde (3; 44; 62; 73) parallel zur Achse der Meßspule (2) erfolgt.

14. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Spulenkörper (64) einen geschlossenen Ring oder ein Rohr bildet und die Meßsonde (62) zur Erfassung von Winkeländerungen entlang des Rings bzw. Rohres verschiebbar gelagert ist.
15. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beide Anschlüsse (6, 7) der Meßspule (2) mit einer Wechselspannungsquelle (70) verbunden sind und die Auswerteschaltung (74) einen Operationsverstärker (75) aufweist, dessen invertierender Eingang (76) mit dem Abgriff (8) der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) verbunden ist.
16. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Abgriff (8) der Elektrode (4; 32; 42; 64; 77; 93) und einem Anschluß (7) der Meßspule (2) eine Wechselspannung anliegt und der zweite Anschluß (6) der Meßspule (2) mit einem invertierenden Eingang (76) eines Operationsverstärkers (75) der Auswerteschaltung (74) verbunden ist.
17. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßspule (2) einen weiteren Anschluß, insbesondere als Mittelabgriff (81) der Meßspule (2), aufweist, der über einen Tiefpaß (82) mit einem invertierenden Eingang (76) eines Operationsverstärkers (75) verbunden ist.
18. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abgriff (8) der Elektrode (77) mit der Masse verbunden ist.
19. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßspule (2) mit einem bestimmten Abstand zueinander gewickelte, blanke Drähte aufweist.
20. Wirbelstromsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Komponenten des Sensors miniaturisiert auf einem Chip, bspw. als magnetoresistive oder fotoresistive Struktur ausgebildet sind.

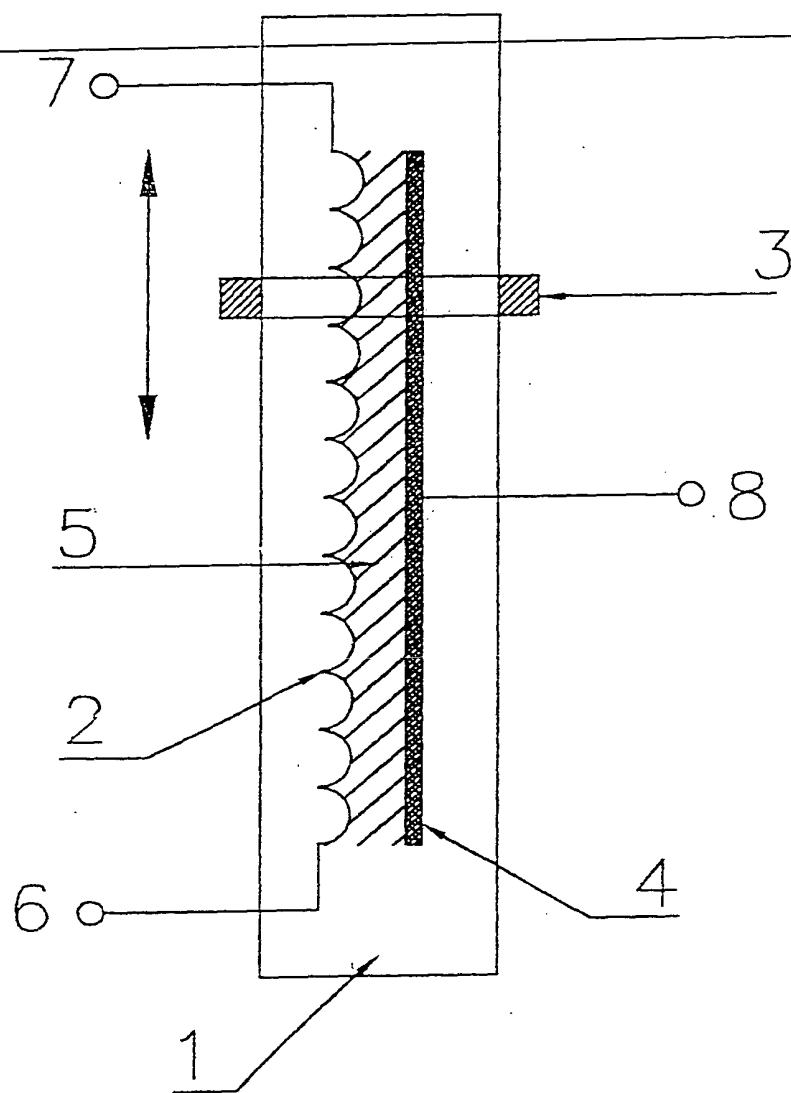


Fig. 1

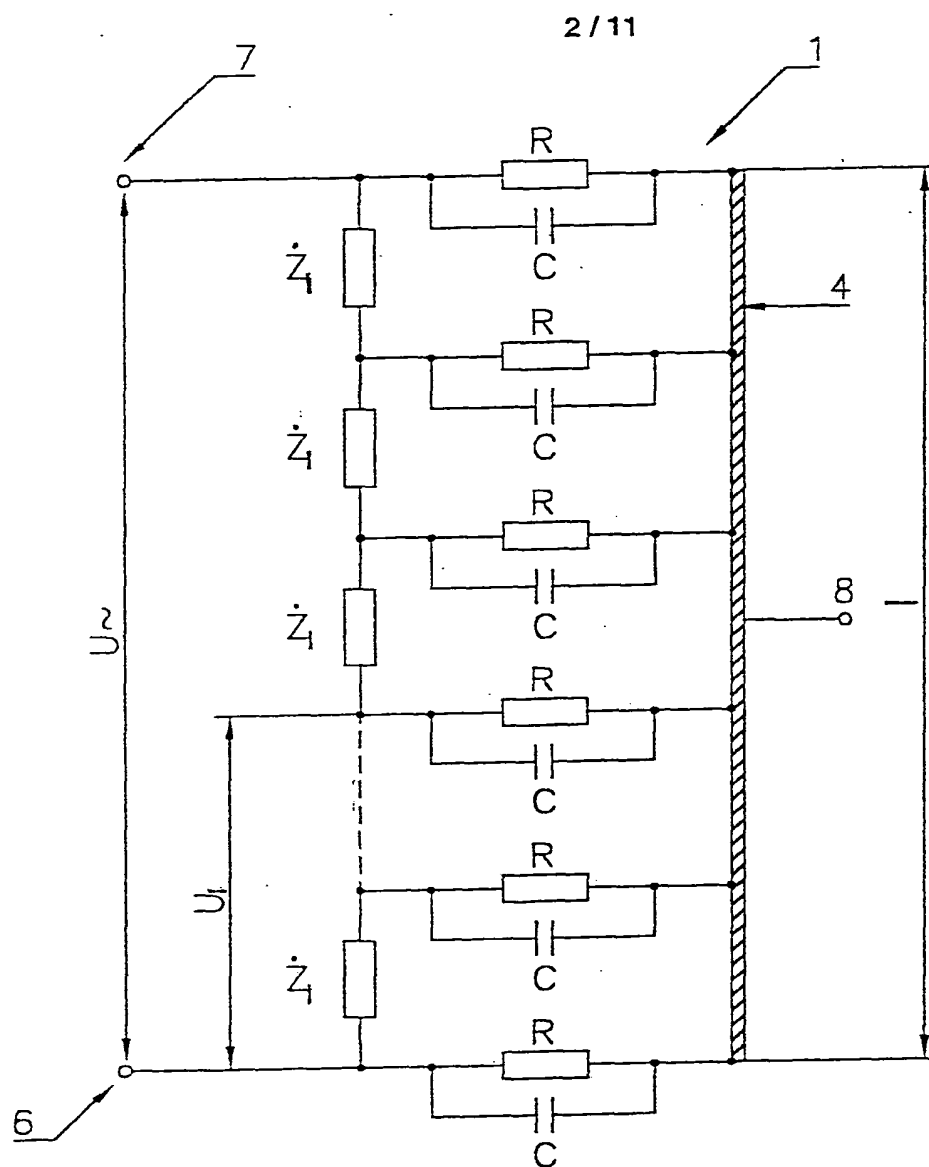
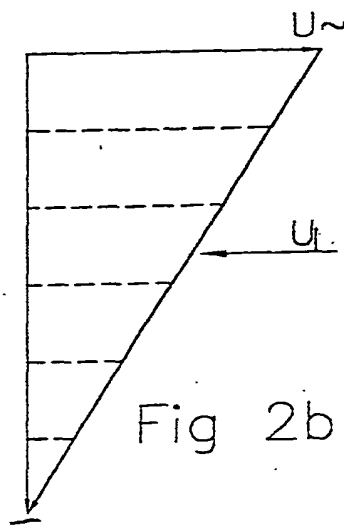


Fig 2a



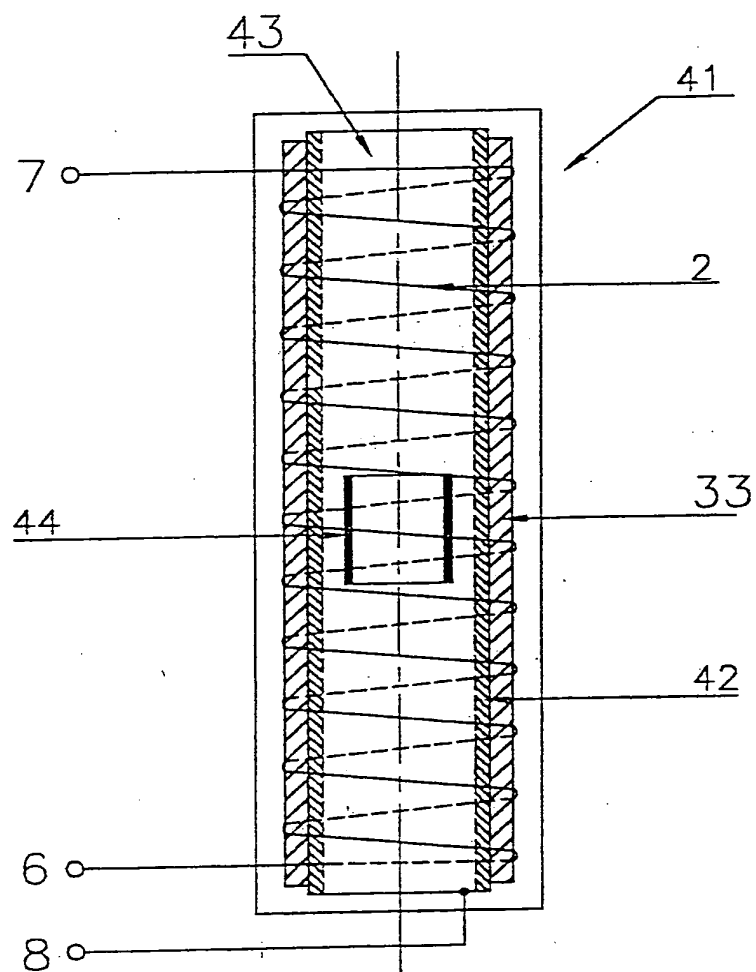


Fig. 4

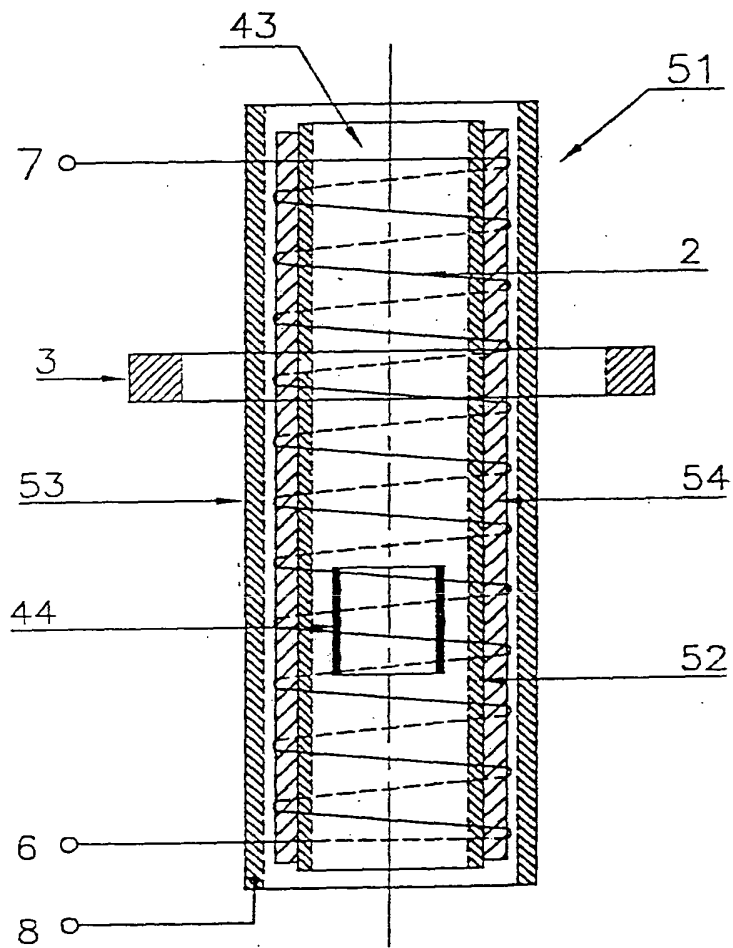


Fig. 5

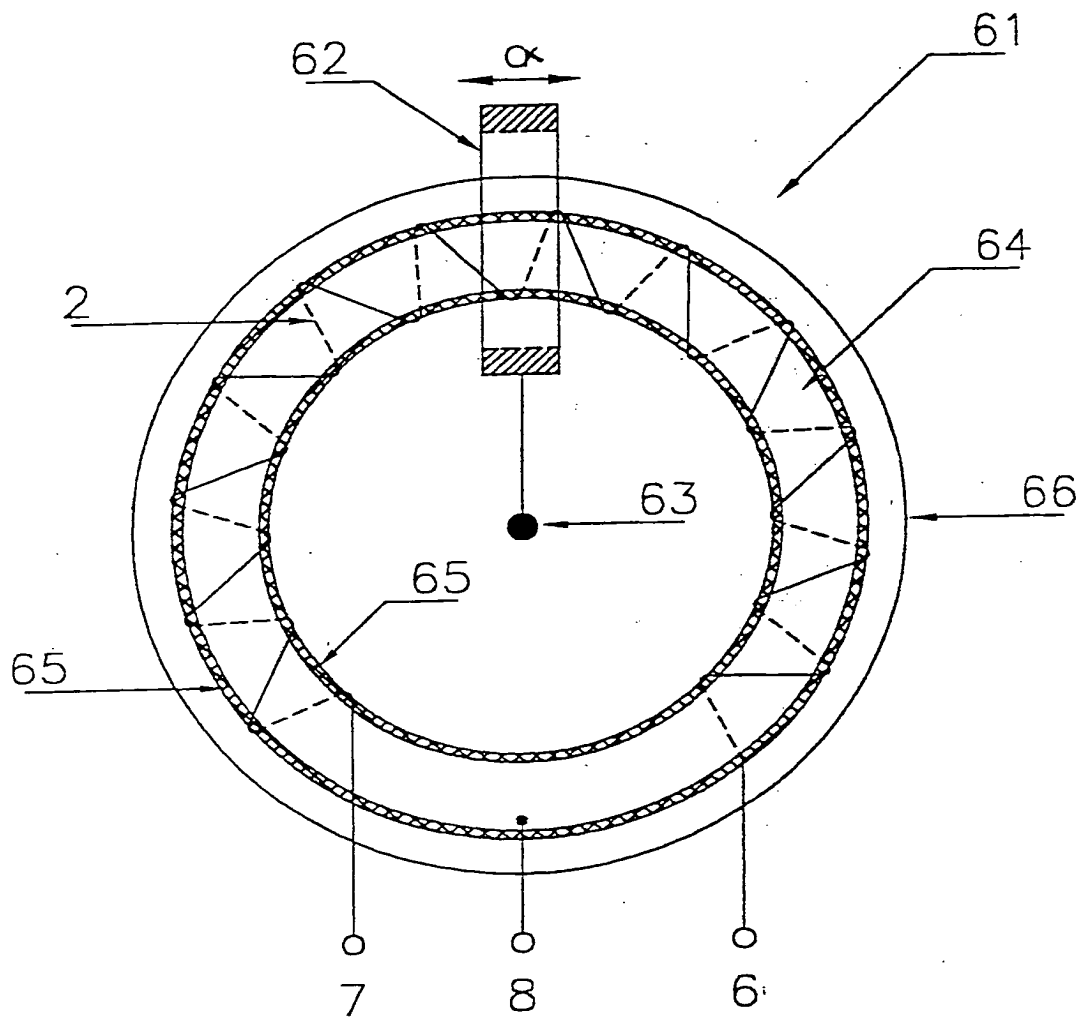


Fig. 6

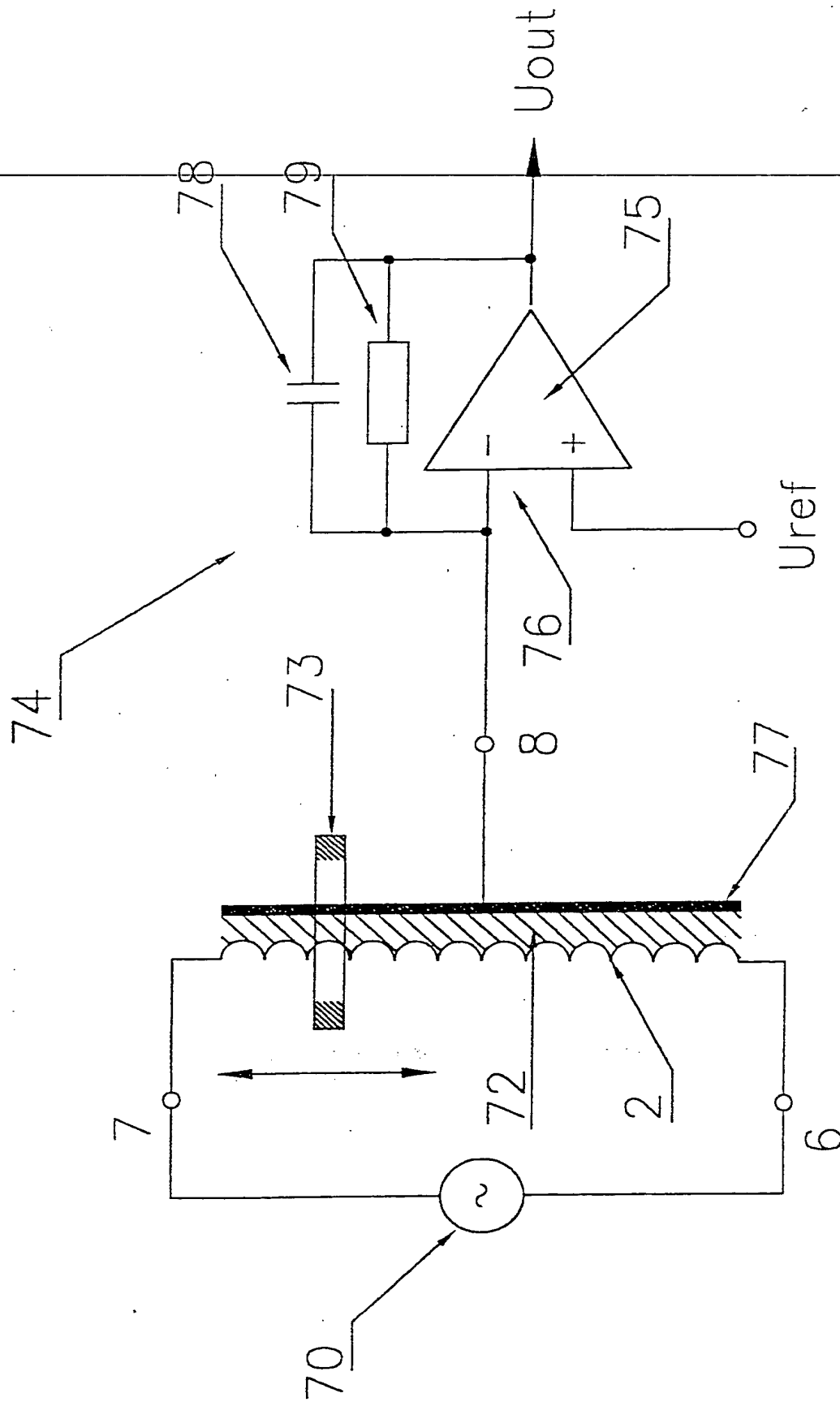
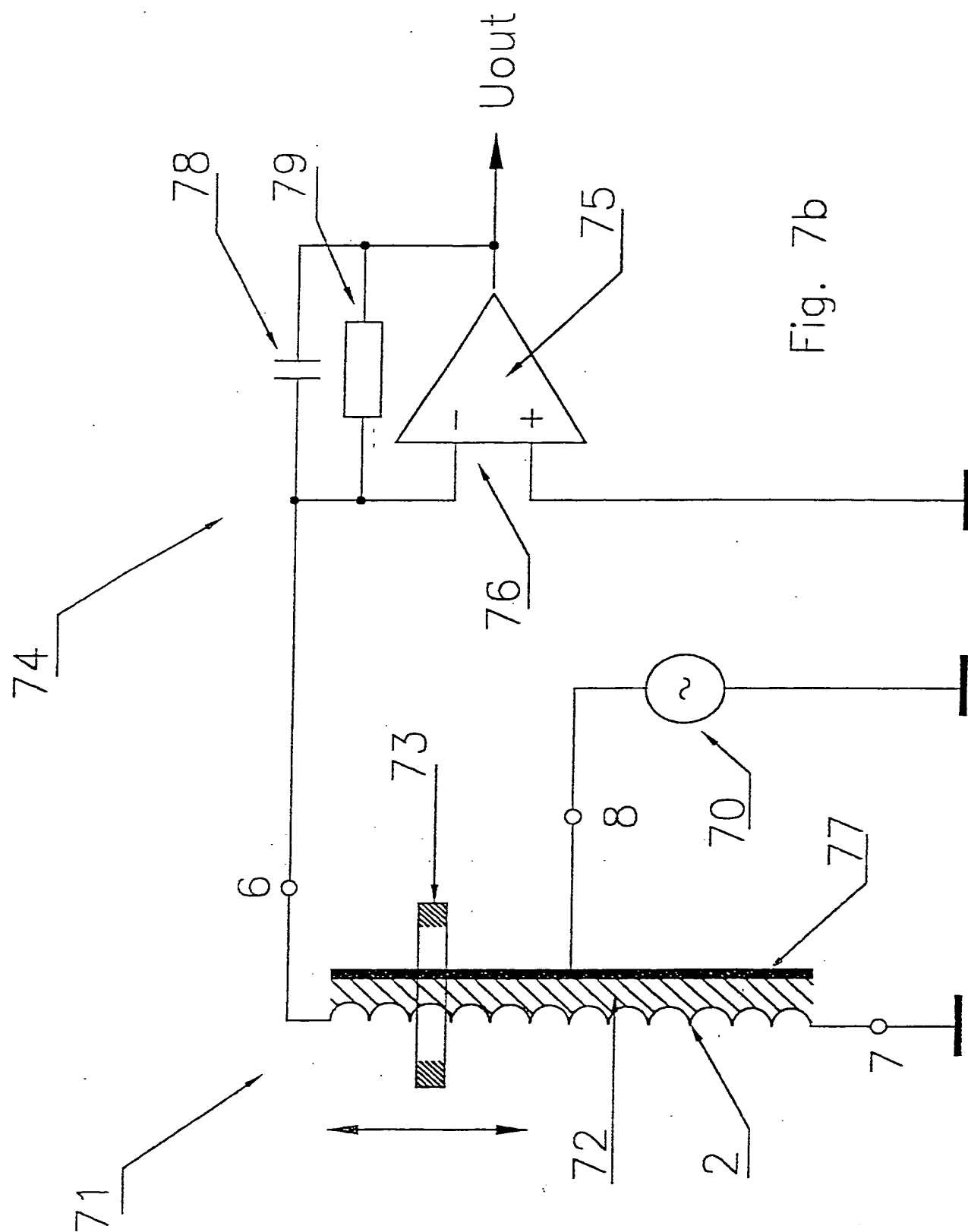


Fig. 7a



9/11

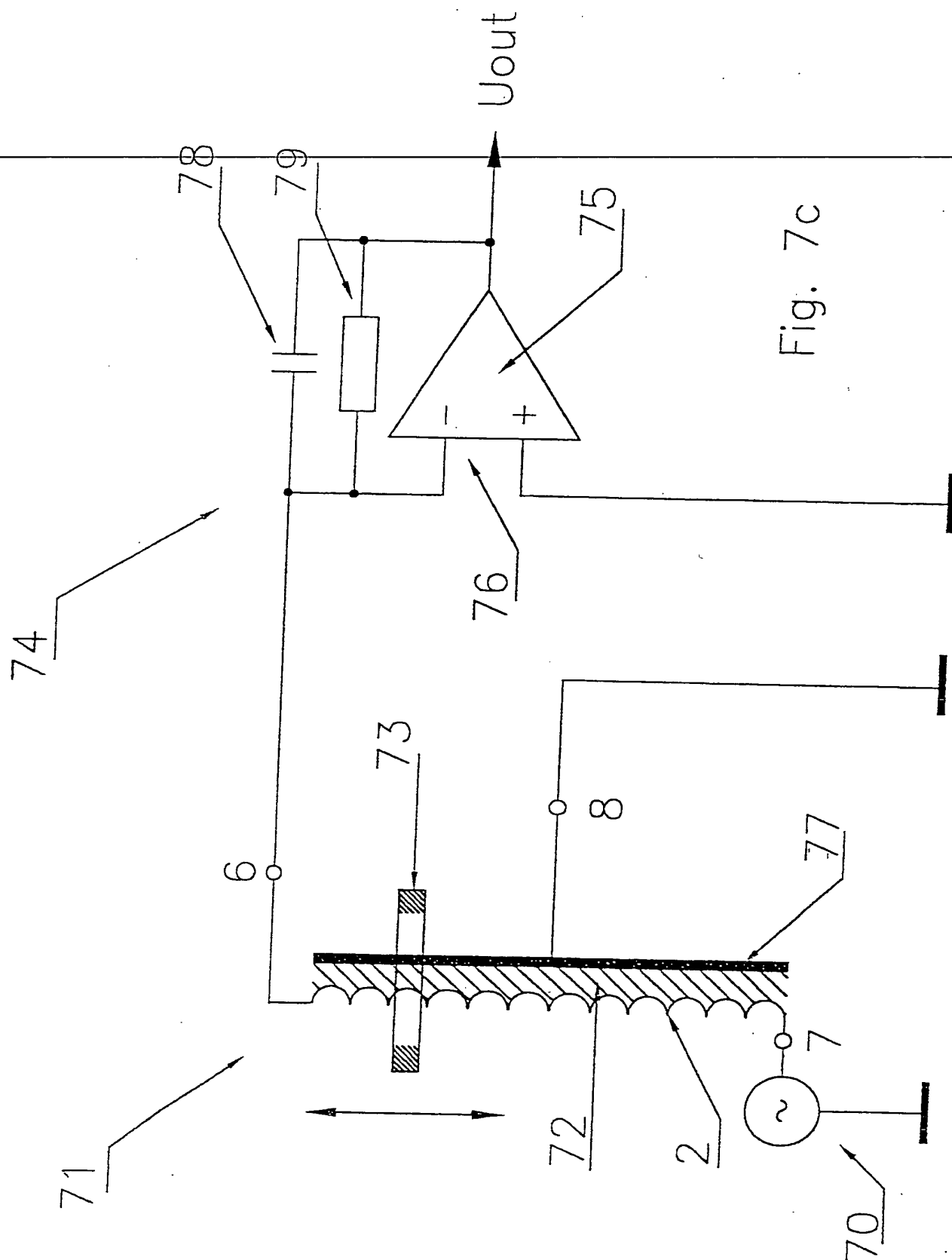


Fig. 7c

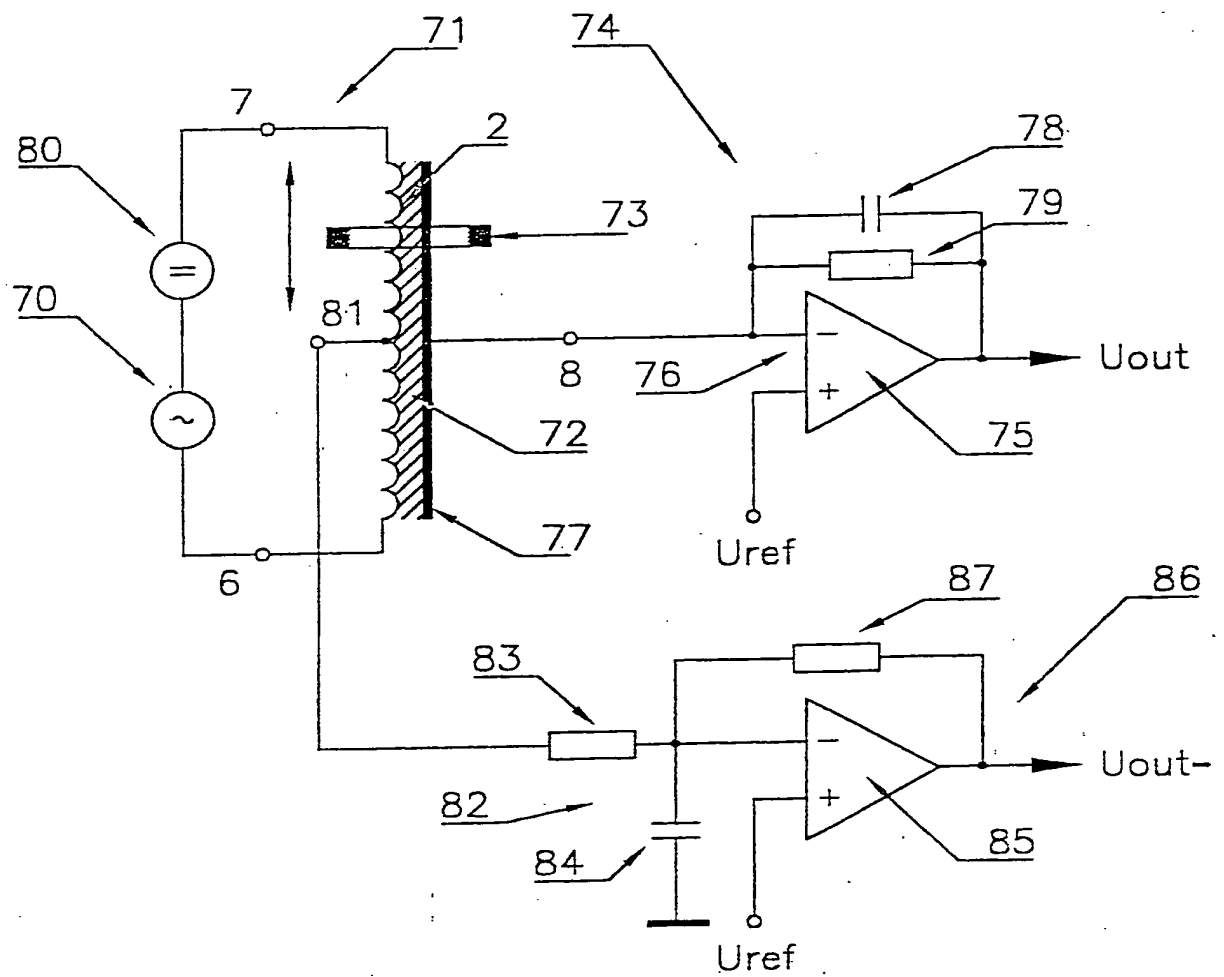


Fig. 7d

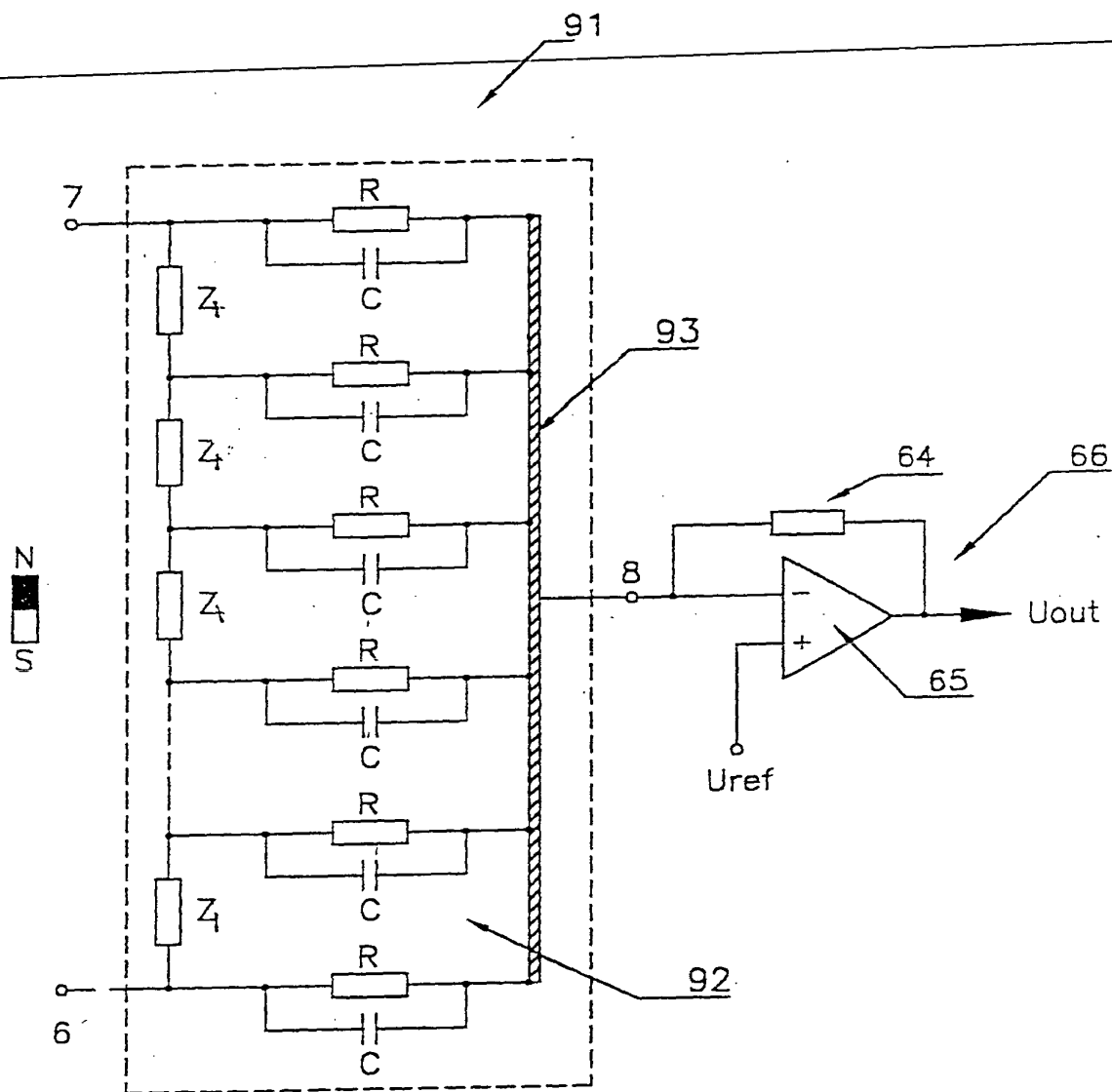


Fig 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 98/01709

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01D5/20

According to International Patent Classification(IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01D G01B G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 42 25 968 A (MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO KG) 10 February 1994 cited in the application see abstract	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 17, no. 399 (P-1579), 26 July 1993 & JP 05 072166 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 23 March 1993 see abstract	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 November 1998

Date of mailing of the international search report

11/11/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lut, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/01709

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4225968 A	10-02-1994	WO 9403778 A	17-02-1994
		DE 59302289 D	23-05-1996
		EP 0654140 A	24-05-1995
		JP 8012082 B	07-02-1996
		JP 7506190 T	06-07-1995
		US 5629619 A	13-05-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In itionales Aktenzeichen

PCT/DE 98/01709

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G01D5/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01D G01B G01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 42 25 968 A (MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO KG) 10. Februar 1994 in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 17, no. 399 (P-1579), 26. Juli 1993 & JP 05 072166 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP), 23. März 1993 siehe Zusammenfassung	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. November 1998

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

11/11/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lut, K

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/DE 98/01709

Formblatt PCT/ISA210 (Anhang Patentamtliche) (Juli 1992)

